

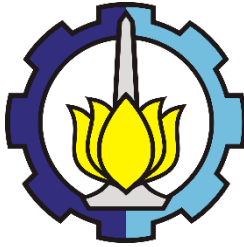
**TUGAS AKHIR – SF 141501**

**PENGARUH KETEBALAN LAPISAN MATERIAL  
PENYERAP RADAR (RAM) DENGAN METODE  
*DOUBLE LAYER* PADA FREKUENSI PANJANG  
GELOMBANG X-BAND**

**RAHMA FITRI PUSPITASARI  
NRP 0111144000046**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Mochamad Zainuri M.Si  
NIP. 19640130 199002.1.001**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



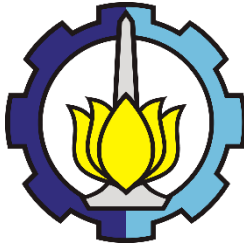
**TUGAS AKHIR – SF141501**

**PENGARUH KETEBALAN LAPISAN MATERIAL  
PENYERAP RADAR (RAM) DENGAN METODE  
*DOUBLE LAYER* PADA FREKUENSI PANJANG  
GELOMBANG X-BAND**

**RAHMA FITRI PUSPITASARI  
NRP 01111440000046**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Mochamad Zainuri M.Si**

**Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**



**FINAL PROJECT – SF141501**

**THE EFFECT LAYER THICKNESS OF RADAR  
ABSORBING MATERIALS USING DOUBLE  
LAYER METHOD at X-BAND RANGE**

**RAHMA FITRI PUSPITASARI  
NRP 01111440000046**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Mochamad Zainuri M.Si**

**Department of Physics  
Faculty of Sciences  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018**

**PENGARUH KETEBALAN LAPISAN MATERIAL  
PENYERAP RADAR (RAM) DENGAN METODE *DOUBLE  
LAYER* PADA FREKUENSI PANJANG GELOMBANG  
*X-BAND***

**TUGAS AKHIR**

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Sains  
pada  
Bidang Fisika Material  
Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Ilmu Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

**RAHMA FITRI PUSPITASARI**

NRP 01111440000046

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

**Dr. Mochamad Zainuri, M.Si**

**NIP. 19640130 199002.1.001**

(.....)



# **PENGARUH KETEBALAN LAPISAN MATERIAL PENYERAP RADAR (RAM) DENGAN METODE DOUBLE LAYER PADA FREKUENSI PANJANG GELOMBANG X-BAND**

**Nama : Rahma Fitri Puspitasari**  
**NRP : 01111440000046**  
**Departemen : Fisika, FIA-ITS**  
**Pembimbing : Dr. Mochamad Zainuri M.Si**

## **Abstrak**

*Pelapisan double layer dengan variasi ketebalan lapisan pada material penyerap radar (RAM), dengan Polianilin dengan dopan DBSA sebagai material konduktif telah berhasil disintesis dengan metode polimerisasi, begitu pula Barium M-Heksaferit sebagai material magnetik dengan dopan  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $X=0,9$  berhasil disintesis dengan metode solid state. Material penyerap radar (RAM) dikarakterisasi dengan menggunakan XRF, XRD, FPP, FTIR, VSM, dan VNA. Hasil karakterisasi diperoleh nilai konduktivitas Polianilin dan Barium M-Heksaferit berturut-turut  $4,4 \times 10^{-1} \text{ S/m}$  dan  $2,09 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ , yang berada pada rentang nilai konduktivitas bahan semikonduktor. Adanya doping  $\text{Zn}^{2+}$  berhasil mereduksi sifat hardmagnet dari Barium M-Heksaferit menjadi bersifat softmagnet, dengan nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) 0,0181 Tesla. Nilai reflection loss diukur dengan menggunakan VNA. Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan diperoleh bahwa desain double layer dengan variasi PANi : PANi + BaM (3:1) mempunyai nilai reflection loss maksimum, yakni -29,6003 dB, dengan energi gelombang yang diserap yakni 96,69%. Sedangkan pada variasi PANi : PANi + BaM (3:1) mempunyai nilai reflection loss minimum, yakni -15,2937 dB, dengan energi yang diserap yakni 82,21%. Selain itu, variasi ketebalan lapisan juga berpengaruh pada lebar pita penyerapan, dengan membentuk puncak serapan paling efektif pada frekuensi tertentu, yakni pada variasi D dengan lebar pita penyerapan paling efektif adalah 1,81 GHz pada frekuensi 9,81 – 8 GHz.*

**Kata kunci :** Barium M-Heksaferit, double layer, kemagnetan, konduktivitas listrik, polianilin, reflection loss .

# EFFECT LAYER THICKNESS OF RADAR ABSORBING MATERIALS USING DOUBLE LAYER METHOD at X-BAND RANGE

**Name** : Rahma Fitri Puspitasari  
**Student ID** : 01111440000046  
**Department** : Physics, FMIPA-ITS  
**Advisor** : Dr. Mochamad Zainuri M.Si

## Abstract

*Double layer coating with layer thickness variation on radar absorbent material (RAM), with Polianiline using DBSA dopants as conductive materials have been successfully synthesized by polymerization methods, as well as Barium M-Hexaferrit as magnetic material using  $\text{Zn}^{2+}$  for dopants at  $X = 0.9$  successfully synthesized by solid state method. The radar absorbent material (RAM) is characterized using XRF, XRD, FPP, FTIR, VSM, and VNA. The result of characterization was obtained conductivity value of Polianiline and Barium M-Hexaferrit, that are  $4,4 \times 10^{-1} \text{ S/m}$  and  $2,09 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ . Both materials are in the range of conductivity values of semiconductor materials. The presence of  $\text{Zn}^{2+}$  doping successfully reduced the hardmagnet properties of Barium M-Hexaferrit to softmagnet, with 0,0181 Tesla for coercivity field ( $H_c$ ). The reflection loss value is measured using VNA. Based on the research and testing, it was found that the double layer design with variation of PANi: PANi + BaM (3: 1) has a maximum reflection loss value of -29,6003 dB, with the absorbed wave energy of 96,69%. While in the variation of PANi: PANi + BaM (3: 1) has a minimum reflection loss value, that is -15,2937 dB, with energy absorbed ie 82,81%. Layer thickness variations also affect the absorption band width, by forming the most absorption peak at a particular frequency at variation D with the most effective absorbtion is 1,81 GHz at frequency 9,81 – 8 GHz.*

**Keywords:** Barium M-Heksaferit, conductivity, double layer, magnetization, polianilin, reflection loss

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kami dari kebodohan menuju cahaya kebenaran. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjanadi jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

### **Pengaruh Ketebalan Lapisan Material Penyerap Radar (RAM) dengan Metode *Double Layer* pada Frekuensi Panjang Gelombang X-Band.**

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada.

1. Allah SWT, atas kesempatan, kesehatan, rezeki, serta segala nikmat yang telah diberikan-Nya tanpa henti.
2. Kedua Orang Tua tercinta, Bapak Sugijanto dan Ibu Yumiati, serta saudara tercinta Anita dan Ria yang selalu mendoakan dan memberikan segala yang terbaik untuk penulis. Keponakan tercinta Nathan, Nathania, Athaya, dan Azkia yang selalu menghibur dan menghilangkan kelelahan dan kejenuhan saat mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Mochamad Zainuri M.Si yang memberikan bimbingan, pengalaman, serta wawasan sejak awal penulisan Tugas Akhir hingga selesai.
4. Bapak Dr.rer.nat Eko Minarto, S.Si., M.Si sebagai dosen wali penulis yang selalu memberi semangat, saran, dan membantu memberikan wawasan dan menentukan pilihan dalam pengambilan mata kuliah selama  $\pm 4$  tahun.
5. Bapak Dr. Yono Hadi P, M. Eng. selaku Kepala Departemen Fisika, FIA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama berkuliah hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dr. rer.nat Triwikantoro, selaku kepala Laboratorium Fisika Material yang senantiasa disiplin,

namun luwes dalam memberikan ijin dalam melakukan sintesis di Laboratorium Material.

7. Fathul Alamsyah Mubarak yang selalu memberi cerita dan pelajaran, serta pengalaman, sedih, gembira, menyakitkan kepada penulis saat mengerjakan Tugas Akhir.
8. Sahabat-sahabat tercinta Anti KT! Jenar, Ce Vina, Cynthia, Muti, Beta, dan Nova yang selalu menemani dan mendengarkan curahan hati saat gundah gulana dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Sahabat-sahabat tercinta Bojo Galak! Dina, Niken, Nindita, Fachrina, dan Silvia yang juga selalu saling memberikan semangat seperjuangan.
10. Sahabat sepejuangan tercinta yang selalu dalam satu *team* dalam keadaan dan situasi apapun, Dina Andriyani.
11. *My Roommate*, Hunny Syaldiles yang senantiasa mendengarkan keluh kesah, cerita, dan doa Penulis.
12. Sista syantik Shelly Permatasari dan Dyah Ayu Rahmawati, serta brotha terlovely mas Fabet, mas Jebons, mas Dewa yang selalu memberikan wejangan.
13. Kepala dan Staf Laboratorium material khususnya Pak Sholih, Mas Slamet, Mas Mufid, dan Mas Soni yang selalu siap membantu penulis dalam semua hal.
14. Teman-teman ANTARES Tercinta seperjuangan yang tak pernah menyerah untuk menyelesaikan Tugas Akhir dan menemani penulis disaat apapun dan dimanapun, memberi cerita, pengalaman, dan pelajaran selama tahun lamanya.
15. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini masih belum sempurna. Sehingga kritik dan saran dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Juni 2018  
Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
COVER PAGE .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Material Penyerap Gelombang Radar (RAM) .....	7
2.2 Barium M-Heksaferrit (BaM).....	9
2.3 Sifat Kemagnetan Material Barium M-Heksaferrit .....	10
2.4 Pengaruh Substitusi Ion Zn.....	15
2.5 Polianilin (PANi) .....	17
2.6 Sifat Konduktivitas Polianilin.....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Peralatan dan Bahan.....	21
3.1.1 Alat.....	21
3.1.2 Bahan .....	21
3.2 Prosedur Penelitian .....	21
3.2.1 Preparasi dan pemurnian serbuk batu besi....	21
3.2.2 Sintesis Kopresipitasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	22
3.2.3 Sintesis Barium M-Heksaferrit .....	23
3.2.4 Sintesis Polianilin (PANi) .....	23
3.2.5 Pelapisan Plat Baja Grade A Tipe AH-36 .....	24
3.2.6 Karakteristik Bahan Uji .....	25
3.3 Diagram Alir.....	28

3.3.1	Preparasi dan pemurnian serbuk batu besi....	28
3.3.2	Sintesis Kopresipitasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	29
3.3.3	Sintesis Barium M-Heksaferrit .....	30
3.3.4	Sintesis Polianilin (PANi) .....	31
3.3.5	Pelapisan <i>double layer</i> .....	32
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1	Hasil Pemurnian dan Preparasi Batu Besi .....	33
4.2	Hasil Sintesis Kopresipitasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	35
4.3	Hasil Sintesis Material Penyerap Radar.....	37
4.3.1	Material Magnetik (Barium M-Heksaferrit)..	38
4.3.2	Material Konduktif (Polianilin) .....	39
4.3.3	Identifikasi Fasa Material Penyerap Radar (RAM) .....	41
4.3.4	Identifikasi Gugus Fungsi RAM .....	43
4.3.5	Analisis Struktur Mikro dan Distribusi Elemen RAM .....	46
4.3.6	Analisis sifat kemagnetan RAM .....	50
4.3.7	Analisis sifat kelistrikan RAM .....	53
4.4	Hasil Pelapisan Plat Baja Grade A Tipe AH-36 ....	55
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	64
	DAFTAR PUSTAKA .....	65
	LAMPIRAN .....	71
	BIODATA PENULIS .....	91

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Histeris Material Ferromagnetik.....	11
Gambar 2.2 (a) Magnet Permanen Isotropi dan (b) Magnet Permanen Anisotropi .....	12
Gambar 2.3 Kurva Saat Proses Magnetisasi .....	14
Gambar 2.4 Kurva Histerisis Material Ferromagnetik.....	15
Gambar 2.5 Mekanisme Difusi .....	16
Gambar 2.6 Struktur Polianilin pada tingkat oksidasi yang berbeda.....	19
Gambar 3.1 Desain eksperimen pelapisan <i>double layer</i> .....	24
Gambar 3.2 Diagram alir preprasi dan pemurnian batu magnet.....	28
Gambar 3.3 Diagram alir sintesis dan kopresipitasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ....	29
Gambar 3.4 Diagram alir sintesis Barium M- Heksaferrit .....	30
Gambar 3.5 Diagram alir sintesis Polianilin .....	31
Gambar 3.6 Diagram alir Pelapisan <i>double layer</i> .....	32
Gambar 4.1 Pola Difraksi Serbuk Besi. ....	35
Gambar 4.2 Pola Difraksi Hematit.....	37
Gambar 4.3 Pola Difraksi Barium M-Heksaferrit .....	41
Gambar 4.4 Pola Difraksi Polianilin .....	43
Gambar 4.5 Sepktrum FTIR BaM dan PANi. ....	44
Gambar 4.6 Hasil karakterisasi SEM $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ . ....	47
Gambar 4.7 Hasil karakterisasi SEM-EDX $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ . ....	48
Gambar 4.8 Hasil karakterisasi VSM $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ . ....	52
Gambar 4.9 Grafik Rugi Refleksi pada Frekuensi X-Band....	57
Gambar 4.10 Pelebaran Pita Penyerapan RAM pada Frekuensi X-Band .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variasi ketebalan lapisan <i>double layer</i> plat baja grade A tipe AH-36 .....	25
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian XRF Batu Besi Tanah Laut .....	34
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian XRD Barium M-Heksaferrit .....	42
Tabel 4.3 Data Spektroskopi FTIR RAM dan data referensi .....	45
Tabel 4.4 Prosentase Persebaran elemen $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ .....	49
Tabel 4.5 Data Hasil Konduktivitas Listrik RAM .....	54
Tabel 4.6 Variasi ketebalan lapisan <i>double layer</i> plat baja grade A tipe AH-36 .....	56
Tabel 4.7 Data Karakteristik Penyerapan RAM pada pelapisan <i>double layer</i> .....	58
Tabel 4.8 Pelebaran Pita Penyerapan Double Layer Variasi Ketebalan Lapisan .....	61

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kekuatan militer merupakan salah satu aspek penting dalam menjaga stabilitas suatu negara. Semua negara termasuk Indonesia membangun pertahanan dan penguasaan teknologi militer yang kuat, tanpa harus bergantung pada negara asing untuk menjaga keamanan nasional sekaligus memenuhi kepentingan nasional. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber daya alam dan sumber daya manusianya dalam penguasaan teknologi militer tersebut sangatlah perlu dilakukan agar dapat menghadapi dan menjawab tantangan teknologi masa kini dan yang akan datang. Salah satu teknologi militer yang memiliki nilai strategis karena selalu berkembang adalah radar. Radar (*Radio Detection and Ranging*) sendiri merupakan alat atau fasilitas yang mampu mendeteksi keberadaan suatu objek yang jauh menggunakan pancaran dan pantulan gelombang elektromagnetik yang telah termodulasi, sehingga dapat diketahui bentuk, jenis, jarak maupun ukuran dari target (Gustomo dan Suwadi, 2013).

Di sisi lain, dalam beberapa dekade terakhir ini, perkembangan teknologi anti radar sebagai penunjang pertahanan suatu negara juga semakin meningkat. Teknologi ini dinamakan dengan teknologi pertahanan siluman (*stealth technology*). Teknologi ini pada umumnya diaplikasikan pada kapal perang dan pesawat perang, sehingga kapal dan pesawat perang tidak dapat dideteksi oleh radar musuh (Ristiani dan Zainuri, 2016). Efisiensi dari teknologi siluman ini bergantung pada banyak sedikitnya energi dari gelombang elektromagnetik yang dipantulkan kembali ke *reciever* (penerima) oleh target. Pantulan gelombang tersebut ditangkap oleh penerima radar dapat dikonversi menjadi data lokasi dan kecepatan dari sebuah objek, yang didasarkan pada besaran RCS (*Radar Cross Section*). Dimana semakin kecil RCS tersebut, maka objek akan semakin sulit dideteksi oleh radar. Teknologi ini pada dasarnya dikembangkan melalui dua metode.

Metode pertama yakni dengan menggunakan metode desain geometri. Metode ini dilakukan dengan cara memanipulasi bentuk (*shapping*) suatu objek dengan desain bersudut yang tidak bisa dilacak oleh penerima radar, sehingga dapat mengacaukan pantulan gelombang radar yang mengenainya dan radar tidak dapat ditangkap oleh *receiver*. Namun, metode ini membutuhkan biaya yang besar dan banyak mengorbankan aspek utilitas ruang dan aerodinamisnya. Sedangkan metode yang kedua yakni menggunakan pelapisan yang berbasis pada material penyerap gelombang radar dengan *Radar Absorbing Material* (RAM), sehingga radar yang dipantulkan sangatlah kecil (Cihangir Kemal Yuzcelik, 2003). Bahan RAM memiliki kemampuan mereduksi energi gelombang elektromagnetik dan memiliki sifat magnetik, dielektrik dan konduktif, sehingga bahan tersebut memiliki kemampuan untuk mengubah gelombang elektromagnet yang dipancarkan oleh radar menjadi energi panas, walaupun pada umumnya temperaturnya tidak pernah dideteksi. Timbulnya panas ini disebabkan karena adanya molekul-molekul radar yang berisolasi dan bertumbukan dengan medan luar. Akibatnya, gelombang yang seharusnya terpantul dan diterima *receiver* (penerima) sangat lemah. Penerapan RAM akan berpengaruh pada penambahan berat kapal perang dan pesawat perang. Oleh karena itu untuk mengoptimalkannya, metode RAM ini harus menggunakan material penyerap dengan kemampuan serap yang tinggi akan tetapi dengan berat seringan mungkin (Saville, 2005). Penelitian kali ini merujuk pada jenis teknologi pelapisan dengan bahan penyerap radar (RAM) untuk memperkecil *radar cross section* (RCS).

Material RAM yang dikembangkan dalam penelitian kali ini terdiri dari 2 komponen utama yaitu magnetik dan dielektrik. Sifat magnetik RAM akan dikembangkan dengan menggunakan Barium M-Heksaferit, sedangkan sifat dielektrik RAM akan dikembangkan dengan menggunakan Polianilin (PANi). Dimana struktur hexagonal tipe M merupakan salah satu jenis ferrit yang dapat digunakan sebagai bahan anti deteksi radar pada *range*

tertentu. Barium hexaferrit dikenal sebagai magnet permanen yang memiliki sifat *hard magnetik*. BaM merupakan feromagnetik oksida yang banyak digunakan sebagai aplikasi *radio frequency* (RF) dan *microwave* (Ristiani dan Zainuri, 2016). Namun, strukturnya dapat direkayasa kemagnetannya menjadi *soft magnetik*, yakni dapat dilakukan dengan cara men-dopping ion Barium (Ba) dan ion Zinc (Zn) pada struktur feromagnetik hingga membentuk fase yang dikenal sebagai Barium M- Hexaferrite atau  $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ . Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahan magnetit lemah (*soft magnetik*) mampu mengabsorpsi gelombang EM pada rentang frekuensi pada rentang X-Band. Paduan BAM dan bahan polimer konduktif PANi (Polianilin) dalam matriks resin membentuk bahan komposit Resin/BAM-PANi berpotensi sebagai bahan absorpsi gelombang elektromagnetik atau RAM. Kualitas kemampuan absorpsi bahan komposit sangat tergantung pada jenis dan komposisi konsentrasi bahan pembentuknya serta ketebalan pelapisan komposit yang digunakan. Untuk memperlebar rentang frekuensi absorpsi gelombang EM dari komposit bahan RAM dapat menggunakan metode *Dallenbach layers* dengan optimalisasi variasi dimensi ketebalan lapisan, yang terdiri dari berbagai macam kombinasi variasi konsentrasi bahan magnetik dan dielektrik/konduktif serta ketebalan bahan komposit.

Telah banyak metode yang digunakan dalam mensintesis material BaM diantaranya metode keramik, kopresipitasi, *sol gel*, *ion exchange*, *autocombustion* dan lain sebagainya (Pullar, 2012). Pada penelitian ini akan digunakan metode *solid state reaction* dalam sintesis pembentukan BaM dan sintesis polimerisasi dalam pembentukan PANi. Yang mana pada penelitian sebelumnya telah dilakukan sintesis BaM dengan menggunakan metode *solid state reaction* dengan doping ion Zn sebesar  $x = 0,3$  dan sintesis polimerisasi dalam pembentukan PANi. Kombinasi komposit BaM/PANi dengan menggunakan pelapisan *double layer* dengan pemberian variasi massa BaM, diketahui menunjukkan serapan yang baik pada massa BaM yang tinggi (Rachmawati dan Zainuri, 2016). Sedangkan dengan menggunakan desain pelapisan

*doublelayer* efektif memperlebar pita penyerapan (Ristiani dan Zainuri, 2016). Kemudian dengan menggunakan pelapisan *multilayer* dengan doping ion Zn pada variasi mol  $x = 0.3, 0.5, 0.7$ , dan  $0.9$  diperoleh nilai minim rugi refleksi yang besar, dengan pelebaran pita penyerapan yang baik pula. Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dikembangkan rekayasa terhadap sifat kemagnetan material BaM/PANi dengan memberikan doping ion Zn pada variasi ketebalan dengan menggunakan metode pelapisan tunggal. Rekayasa yang dilakukan bertujuan dapat meningkatkan sifat serapan dan anti deteksi radar yang dimiliki oleh material RAM itu sendiri. Sintesis BaM menggunakan bahan alam yaitu pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan dan PANi dengan menggunakan doping DBSA. Yang mana nantinya kedua bahan RAM akan dijadikan resin dalam cat dan dilapiskan pada plat baja kapal *grade* tipe AH-36 dengan variasi ketebalan menggunakan pelapisan *double layer*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh sifat dan karakteristik kemagnetan dari Barium M-Heksaferrit yang didoping dengan Zn?
2. Bagaimana sifat dan karakteristik kelistrikan dari material penyerap radar?
3. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan lapisan terhadap lebar penyerapan dan rugi refleksi material penyerap gelombang radar (RAM)?

## 1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini, mempunyai batasan masalah yakni sebagai berikut.

1. Sintesis material magnetik Barium M-Heksaferrit berbasis bahan alam pasir besi Tanah Laut Kalimantan dopinh  $\text{Zn}^{2+}$ .
2. Sintesis material dielektrik polianilin dengan pemberian doping DBSA.



3. Material penyerap radar dengan pemberian variasi ketebalan pada metode pelapisan *double layer*.
4. Pelapisan dilakukan pada plat baja grade tipe AH-36.
5. Pengujian VNA dilakukan pada frekuensi panjang gelombang X-Band

#### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan pada penelitian tugas akhir ini adalah.

1. Untuk mengetahui sifat dan karakteristik kemagnetan dari Barium M-Heksaferrit yang didoping dengan Zn.
2. Untuk mengetahui sifat dan karakteristik kelistrikan dari material penyerap radar.
3. Untuk mengetahui efektivitas ketebalan lapisan terhadap lebar penyerapan dan rugi refleksi gelombang elektromagnetik pada frekuensi *X-Band*.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membentuk RAM yang terdiri dari material dielektrik polianilin dan material magnetik Barium M-Heksaferrit dengan fasa BaM mencapai 100%. Sehingga penelitian kali ini diharapkan dapat memberikan gambaran dan referensi dalam pengembangan material penyerap gelombang radar (RAM) yang berbasis pada bahan alam.

#### **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan, berisi tentang latar belakang penulisan Tugas Akhir, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka, berisi tentang teori dasar yang melandasi penelitian serta menjadi referensi penulisan Tugas Akhir tersebut.

BAB III Metode Penelitian, berisi tentang metode yang dilakukan dalam penelitian Tugas Akhir.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan, berisi tentang analisa data dan pembahasan hasil pengolahan data.

BAB V Kesimpulan dan Saran, berisi tentang kesimpulan yang didapat dari penelitian tersebut serta saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Penyerap Gelombang Radar (RAM)

Teknologi pengawasan *Wide Area Surveillance*, menurut *Global Security Organization* (2012) mampu memberikan pengawasan pada wilayah yang luas untuk mengamati dan mendeteksi aktivitas spesifik, khususnya dapat diterapkan pada pengawasan di daerah yang kerap kali terjadi kasus perbatasan daerah. Kasus-kasus tersebut mengindikasikan masih lemahnya teknologi pertahanan militer Indonesia (Bratadharma, 2012). Namun, untuk peningkatan teknologi militer dibutuhkan suatu gagasan maupun kajian yang bersifat inovatif. Salah satu yang kini tengah berkembang adalah teknologi siluman atau biasa dikenal dengan *stealth technology* (Saville et al., 2005). Teknologi ini pada umumnya diaplikasikan pada kapal perang dan pesawat perang, sehingga kapal dan pesawat perang tidak dapat dideteksi oleh radar musuh (Ristiani dan Zainuri, 2016). Efisiensi dari teknologi siluman ini bergantung pada banyak sedikitnya energi dari gelombang elektromagnetik yang dipantulkan kembali ke *reciever* (penerima) oleh target. Pantulan gelombang tersebut ditangkap oleh penerima radar dapat dikonversi menjadi data lokasi dan kecepatan dari sebuah objek, yang didasarkan pada besaran RCS (*Radar Cross Section*) atau dengan kata lain radar dapat terdeteksi berdasarkan *Radar Cross section* (RCS), yaitu berupa daerah pada target yang memantulkan sinyal datang. Aplikasi dari radar (*Radio Detection and Ranging*) sendiri saat ini semakin meningkat dalam bidang pertahanan untuk mendeteksi suatu target. Oleh karena itu, dalam kemajuan teknologi *microwave* membuat fokus dalam pengembangan efisiensi anti radar sebagai teknologi siluman (Das dkk., 2014). Semakin kecil RCS tersebut, maka objek akan semakin sulit dideteksi oleh radar. Dalam memperkecil nilai RCS dikembangkan empat desain anti radar diantaranya adalah *shaping*, *Radar Absorbing Material* (RAM), *passive cancellation* dan *active cancellation*.

Pada metode *shaping* sendiri digunakan untuk mengurangi sinyal radar yang terpantul kembali ke *receiver*, yang dilakukan dengan mendesain bentuk atau geometri dari benda anti radar secara bersudut, sehingga luasan penampang yang dapat ditangkap radar akan semakin kecil. Dengan desain bersudut maka gelombang radar yang diterima akan dipantulkan acak ke arah lain, sehingga tidak ditangkap kembali oleh *receiver*. Namun, pada metode ini dirasa kurang efektif karena dengan memodifikasi bentuk pesawat, maka akan ada keterbatasan antara prinsip aerodinamiknya. Sedangkan metode yang kedua adalah dengan menggunakan material penyerap gelombang radar yang disebut dengan RAM (*Radar Absorbing Material*). Pada metode ini, didasarkan pada dua aspek penyerapan yang terdiri dari aspek magnetik dan aspek dielektrik. Dengan adanya dua aspek tersebut diharapkan gelombang radar yang diterima dapat diserap dengan sempurna oleh material anti radar. Namun, dasarnya material penyerap radar ini dengan mengubah energi *radio frequency* (RF) menjadi energi panas. Hal ini terjadi karena adanya molekul-molekul radar yang berosilasi dan bertumbukan dengan medan luar, yang pada akhirnya dapat menghasilkan panas. Kemudian metode ketiga yaitu *passive cancellation* merupakan metode anti radar dengan memperkenalkan *scatter sekunder* untuk dibatalkan dengan pantulan target utama. Metode ini didesain untuk memodifikasi impedansi permukaan sehingga sinyal radar yang kembali akan tersebar kemana-mana, yakni dengan mendesain *part body* ukuran bentuk rongga agar diperoleh impedansi maksimal. Namun, metode ini juga dirasa kurang efektif dan praktis karena sulit untuk menghasilkan frekuensi yang sesuai impedansi yang diinginkan. Metode keempat yaitu *active cancellation* yaitu metode yang digunakan untuk mendeteksi sinyal radar yang datang kemudian memperkuat sinyal balik, dengan memodifikasi dan meneruskan radar yang diterima. Sehingga sinyal pantulan memiliki amplitudo yang sebanding dan fase yang berlawanan dengan sinyal datang. Akibatnya sinyal

pantul tersebar dan menabrak sinyal atang yang lain (Cihangir Kemal Yuzcelik, 2003).

## 2.2 Barium M-Heksaferit (BaM)

Material heksagonal ferrit memiliki struktur kristal yang kompleks dan diklasifikasikan dalam beberapa tipe yang ditentukan oleh kandungan ion besi dan oksigen dalam senyawa, diantaranya adalah tipe M, W, X, Y, Z, dan U (Linda, 2011). Heksagonal ferrit sendiri merupakan material ferromagnetik, yang secara keseluruhan memiliki sifat magnetokristalin anisotropi, serta memiliki sifat kemagnetan yang dapat direkayasa sedemikian rupa, sehingga banyak dipakai dalam berbagai penelitian ilmiah. Selain itu, dikarenakan material heksagonal ferrit memiliki kestabilan kimia yang bagus dan relatif lebih ekonomis dalam produksi, sehingga sangat cocok untuk diterapkan dalam peralatan teknologi dijangkauan yang lebih luas (Efhana dkk., 2013).

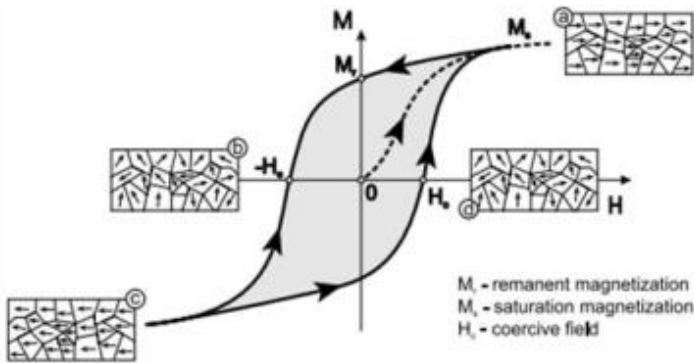
Magnet barium ferit mulai dikembangkan pada awal tahun 1960, sebagai alternatif untuk menggantikan penggunaan magnet sebagai logam. Magnet ini termasuk Magnet ini termasuk klasifikasi material keramik magnet keras yang memiliki struktur hexagonal ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ), sehingga dikenal juga dengan nama Barium M-Heksaferit (J. Bahadur D. 2006). Barium M-Heksaferit merupakan magnet permanen dengan anisotropi magnetik yang tinggi (Molaei dkk., 2012), kestabilan yang baik, nilai saturasi magnet polarisasi yang tinggi yaitu sebesar 78 emu/g, memiliki temperatur Curie yang tinggi  $450^{\circ}\text{C}$  dan medan koersifitas yang lebar yaitu 6700 Oe atau biada disebut dengan *hardmagnet* (Sholihah, 2012), karena nilai anisotropinya yang tinggi yaitu sekitar 50-60 Hz (Ghasemi dkk., 2006) dan medan koersivitas ( $H_c$ ) yang terlalu tinggi, maka untuk mereduksinya dapat dilakukan dengan substitusi  $\text{Fe}^{3+}$  dengan kation logam lain, dengan ukuran yang hamper sama, misalnya  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ . Ion divalent, seperti Zn, Co, Ni, dan Mn sering digunakan karena mempunyai persamaan jari-jari ionic dan konfigurasi elektron (Mallick dkk., 2004). Selain itu, Barium Heksaferit BaM

merupakan magnet permanen yang memiliki sifat listrik yang baik seperti permeabilitas dan resistivitas tinggi. Magnet permanen BaM merupakan magnet kuat yang mana masih memiliki sifat magnetisasi meski medan magnet luar yang mempengaruhinya telah dihilangkan (Soehada dkk., 2014). Material BaM memiliki Ferrit dapat menyerap *microwave* karena kehilangan interaksi Antara listrik dan medan magnet pada vektor gelombang dan dalam proses transfer energi gelombang mikro ke energi *thermal*. Bahan ini mempunyai sebuah bagian imajiner dari permitivitas dan permeabilitas yang bervariasi dengan komposisi bahan dan frekuensi (Narang, 2006). Tipe ferrit yang berbeda mempunyai karakteristik frekuensi yang berbeda pula. Perbedaan karakteristiknya dapat dibentuk dengan memilih struktur kimia yang sesuai, penambahan ion doping, dan proses sintesis. Sehingga diharapkan Barium M-Heksaferit dapat diaplikasikan untuk penyerap gelombang radar bagi teknologi kapal perang.

### **2.3 Sifat Kemagnetan Material Barium M-Heksaferit**

Momen magnetik atom dalam material dalam lingkungan medan magnet akan memberikan respon yang berbeda tergantung dari sifat intrinsik maupun ekstrinsik bahan tersebut. Respon ini dengan membentuk suatu keteraturan orientasi magnetik. Keteraturan atau orientasi magnetik ini akan menentukan sifat magnetik dari suatu bahan (Linda, 2011).

Karakterisasi suatu bahan magnetik dapat digambarkan dengan kurva histeris. Dimana  $H$  merupakan medan magnet yang dikerahkan.  $M$  adalah pemagnetan yang didefinisikan sebagai momen dipol magnetik per volume suatu bahan. Sedangkan  $B$  adalah besarnya induksi magnetik material pada suatu titik yang dikenai medan magnet  $H$  dan material tersebut mengalami pemagnetan  $M$  (Mujamilah, 2000). Sehingga, untuk memagnetisasi maka suatu bahan haruslah diinduksi dengan medan magnet pengimbas dari luar.



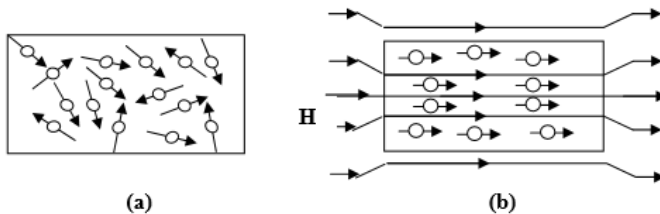
**Gambar 2.1.** Kurva Histeris Material Ferromagnetik

Material magnetik memiliki besaran-besaran penting berdasarkan kurva histerisis yaitu magnetik saturasi ( $M_s$ ), medan koersivitas ( $H_c$ ), dan magnetisasi remanen ( $M_r$ ). Saat material magnetik dikenai medan magnet, ketiga parameter tersebut saling berkaitan satu sama lain. Magnetik saturasi merupakan kemampuan partikel untuk mempertahankan domain-domain magnetiknya ketika dikenai medan magnet luar. Magnetik saturasi disebut pula sebagai magnetisasi jenuh, yakni suatu keadaan terjadi kejenuhan, nilai medan magnet  $B$  akan selalu konstan walaupun medan eksternal terus dinaikkan (Ristiani dan Zainuri, 2016). Semakin besar nilai  $B_r$  suatu material, maka sifat kemagnetannya juga akan semakin besar. Demikian juga nilai  $H_c$  yang menunjukkan sifat kemagnetan dari suatu bahan. Apabila magnetisasi terus meningkat, maka bahan magnet akan mengalami saturasi (Linda, 2011).

Medan koersivitas merupakan besarnya medan magnet balik yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasi material bernilai nol. Semakin besar nilai koersivitas maka semakin besar pula sifat kemagnetan material. Magnetisasi remanen merupakan remanensi magnet yang tersisa dalam material setelah pengaruh medan magnet luar diabaikan (Ristiani and Zainuri, 2016). Remanensi

terjadi pada saat intensitas medan magnetik  $H$  berharga nol dan medan magnet  $B$  menunjukkan harga tertentu (Linda, 2011).

Bahan keramik yang bersifat magnetik pada umumnya merupakan golongan ferrit, yang merupakan oksida yang disusun oleh hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) sebagai komponen utama. Ferrit merupakan kelompok terpenting dari material ferrimagnetik. Material ferrimagnetik mengalami magnetisasi spontan pada temperatur kamar. Magnetisasi spontan ini akan hilang pada temperatur di atas temperatur *curie* dan menjadi paramagnetik. Sifat ferrimagnetik hampir sama dengan ferromagnetik, hanya saja tingkat magnetisasi saturasinya lebih rendah dari ferromagnetik (Halliday & Resnick, 1989). Produk magnet permanen terdiri dari dua macam berdasarkan teknik pembuatannya, yakni magnet permanen anisotropi dan magnet permanen isotropi. Material magnet isotropi merupakan material dengan pembentukan arah domain magnet partikel yang acak, sedangkan material magnet permanen anisotropi merupakan material dengan pembentukan arah domain magnet partikel searah (Efhana dkk., 2013), seperti pada gambar berikut.



**Gambar 2.2.** (a) Magnet Permanen Isotropi dan (b) Magnet Permanen Anisotropi

Seperti yang telah kita ketahui, besi dan nikel merupakan bahan ferromagnetik, tetapi belum menunjukkan kemagnetannya apabila belum dimagnetisasi. Menurut Murthy (2003), apabila bahan ferromagnetik dikenai kuat medan magnet  $H$  dari luar, maka magnetisasi bahan akan meningkat sampai magnetisasi jenuh yang dinamakan dengan *saturation magnetisation* ( $M_s$ ). Dengan



menurunnya medan magnet, magnetisasi bahan juga akan menurun. Pada saat  $H=0$ , maka magnetisasi yang tersisa di dalam bahan dinamakan dengan *remanent magnetisation* ( $M_r$ ). medan magnet berlawanan, yang disebut dengan medan koersif intrinsik ( $-iH_c$ ), diperlukan sebelum induksi turun menjadi nol. Pada saat bahan didemagnetisasi, maka akan demagnetisasi jenuh pada arah  $+H$ , yang mana sesuai dengan gambar 2.1. Pada bahan yang belum didemagnetisasi, domain magnetiknya tidak searah. Ketika bahan tersebut dimagnetisasi dengan diberikan kuat medan magnet dari luar, maka kuat medan magnet tersebut menyearahkan menjadi satu arah domain.

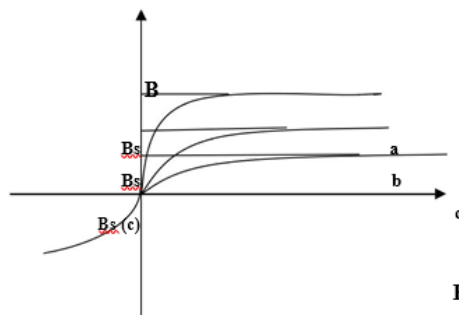
Pada gambar 2.1 menjelaskan bahwa siklus magnetisasi pada material magnetik. Pada titik nol (0) adalah titik awal saat momen dipol magnet acak. Dengan memberikan pengaruh medan magnet luar ( $H$ ) maka momen dipol magnet mulai disearahkan. Setelah mencapai tahapan tertentu kenaikan kurva akan terhenti. Momen dipol magnetisasinya menguat sesuai dengan besar medan magnet luar. Kondisi ini disebut dengan magnetik saturasi pada titik a. Saat medan magnet luar dilepas atau diturunkan secara bertahap, maka momen dipol magnetik akan kembali acak. Akan tetapi sifat magnetnya tidak hilang seketika atau masih ada sifat magnet tersisa yang disebut dengan keadaan remanensi. Hal ini ditunjukkan oleh titik b, dimana nilai medan magnet luar adalah nol (0). Saat medan magnet luar dibalik momen dipol magnetik akan disearahkan kembali. Saat medan magnet luar semakin bertambah dan magnetisasi ( $M$ ) sama dengan nol akan diperoleh  $H_c$  atau medan koersivitas. Dengan menguatkan medan magnet balik maka momen dipol magnetik akan searah kembali pada arah yang berlawanan dan mencapai titik saturasi kembali pada titik c. Saat medan magnet luar dilepas maka momen dipol magnetik akan kembali acak seperti semula yang ditunjukkan oleh titik d. Begitu proses ini berlangsung terus menerus membuat sebuah siklus atau loop (Awalin dan Zainuri, 2017).

Apabila magnetisasi  $M$  sampel merupakan fungsi induksi magnetik  $B$  dan  $B$  merupakan fungsi intensitas magnetik  $H$  dalam

ferromagnetik, maka hubungan antara induksi magnetik  $B$ , intensitas magnetik  $H$  dan magnetisasi  $M$  dinyatakan dengan (Kraus dan Fleisch, 1999):

$$B = \mu_o H + \mu_o M \quad (2.1)$$

dengan  $\mu_o$  adalah permeabilitas udara sebesar  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m. Penulisan  $B$  sebagai fungsi  $H$  disebut dengan kurva magnetisasi dari material seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3 berikut (Linda, 2011).

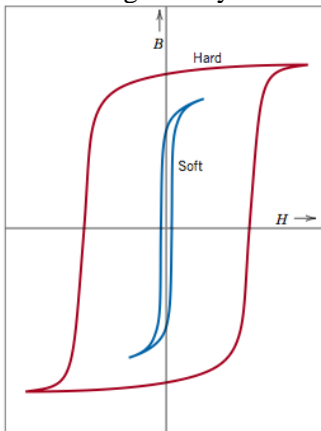


**Gambar 2.3.** Kurva saat proses magnetisasi.

Magnetisasi  $M$  adalah sampai bagaimana momen magnetik dalam bahan terinduksi oleh suatu medan magnetik luar dan ditentukan berdasarkan sebuah besaran vektor. Oleh karena itu, magnetisasi didefinisikan sebagai momen magnetik (momen dipol magnet) persatuan volume (Linda, 2011).

Berdasarkan kurva histerisnya, material ferromagnetik dapat dibedakan menjadi dua, yakni *softmagnet* dan *hardmagnet*, yakni seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.4. dimana material *softmagnet* mempunyai kurva histeris yang berbentuk pipih. Hal ini dikarenakan energi yang hilang pada saat proses magnetisasi relative rendah, sehingga medan koersivitasnya kecil. Sedangkan pada material *hardmagnet* kurva histeris yang dimiliki berbentuk cembung, karena energi yang hilang pada saat proses magnetisasi tinggi, sehingga medan koersivitas yang dimiliki lebih besar

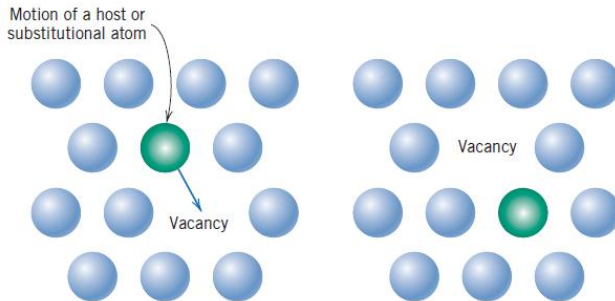
(Linda, 2011). Medan koersivitas disini digunakan untuk membedakan material bersifat *soft* ataupun *hardmagnet*. Semakin besar medan koersivitasnya, maka akan semakin besar atau keras sifat kemagnetannya. Bahan dengan koersivitas yang tinggi menunjukkan bahwa sifat kemagnetannya tidak mudah hilang.



**Gambar 2.4.** Kurva Histerisis Material Ferromagnetik

## 2.4 Pengaruh Substitusi Ion Zn

Substitusi ion dapat dilakukan apabila terjadi perpindahan atom yang memiliki ukuran lebih kecil atau relatif sama atau lebih kecil 15% dari atom induknya atau atom yang akan di gantikan. Atom dapat berpindah jika terdapat kekosongan (*vacancy*) atau memiliki energi vibrasi yang cukup untuk melewati energi hambat yang terjadi pada saat proses difusi. Difusi adalah pergerakan atom-atom dari satu tempat ke tempat lain akibat adanya pemberian energi, yakni berupa energi panas yang diberikan pada atom-atom tersebut (Callister, 2007), seperti pada gambar berikut.



**Gambar 2.4.** Mekanisme Difusi

Proses ini cenderung terjadi pada ukuran atom yang bermigran sangat kecil. Ada kemungkinan yang dapat terjadi pada difusi substitusi yaitu perpindahan atom itu sendiri menuju *vacancy* dan perpindahan *vacancy* menggantikan tempat atom yang pindah. Dalam hal ini, proses difusi atom-atom untuk pindah dari posisi interstisi sebelahnya dalam kisi yang tidak sempurna. Pada pemberian doping Zn, dimana Zn merupakan logam yang berwarna putih kebiruan dan bersifat diamagnetik dan secara umum mempunyai keadaan oksidasi +2. Struktur kristalnya merupakan tetrahedral, dengan jari-jari ionik  $\text{Zn}^{2+}$  adalah 0.074 nm. +kehadiran Ion  $\text{Zn}^{2+}$  ini berperan sebagai pengganggu dalam kemagnetan ferrit oksida. Mengingat ferrit sendiri mempunyai sifat *hardmagnet* (Linda, 2011). Dalam struktur Barium M Heksaferit, terdapat ion  $\text{Fe}^{3+}$  dengan jari-jari ioniknya yakni 0.065 nm dan termasuk dalam logam transisi karena termasuk dalam kelas logam divalen, yang mana sering digunakan karena memiliki persamaan jari-jari ionik dan konfigurasi elektron dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$  (Priyono, 2013). Oleh karena itulah, dapat dimungkinkan kehadiran ion  $\text{Zn}^{2+}$  akan menggantikan ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Namun, penambahan Zn pada Barium M-Heksaferit juga akan berpengaruh pada parameter kisi dan temperatur *curie* dari material tersebut. Penyisipan ion  $\text{Zn}^{2+}$  pada struktur M-Heksagonal menggantikan ion  $\text{Fe}^{3+}$  tidak akan mengubah struktur Kristal yang sudah ada, namun hanya berperan dalam menurunkan sifat kemagnetan

Barium M-Heksaferit sehingga sifatnya menjadi lebih lunak. Penambahan  $\text{Zn}^{2+}$  dengan momen magnet yang lebih rendah akan mereduksi sifat magnetik ferrit (Linda, 2011). Sehingga, dengan adanya ion Zn dalam stoikiometri Barium M-Heksaferit diharapkan dapat mengurangi kerugian pada saat energinya tinggi, sehingga dapat mempermudah media perekam magnetik menjadi lebih lunak dan bersifat *softmagnet*.

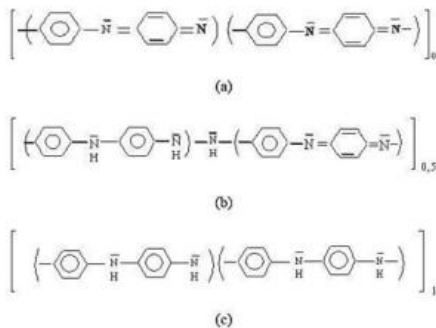
## 2.5 Polianilin (PANi)

Polianilin (PANi) merupakan salah satu material polimer konduktif yang terbentuk dari pengulangan unit kimia monomer–monomer anilin ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ). Penggabungan monomer–monomer anilin tersebut membentuk cincin–cincin benzoid dan quinoid yang dihubungkan oleh atom–atom nitrogen melalui ikatan amin dan imin. PANi mempunyai sifat yang mudah disintesis, nilai kestabilan kimia yang tinggi di udara, konduktivitas listrik tinggi, dan dapat digunakan untuk melindungi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari sumber listrik, sedangkan gelombang elektromagnetik dari sumber magnet dapat secara efektif terlindung dengan bahan magnetik (Palaniappan, 2008). Selain itu juga mempunyai konduktivitas tinggi dengan mengatur tingkat konsentrasi doping. Kemudian termasuk ke dalam kelompok senyawa aromatic yang mempunyai berat molekul 93 gr/mol, dengan titik didih  $183^0\text{ C}$  -  $186^0\text{ C}$ , dengan indeks bias 1.58, dan rapat massa 1.002 kg/liter. Polianilin mempunyai bentuk molekul yang heterosiklik enam sisi dengan amina merupakan salah satu substansi pembentuknya. Ikatan kimia pada molekul anilin adalah ikatan kovalen dengan tiga buah ikatan rangkap. Anilin larut dalam senyawa organik seperti alkohol, benzena, kloroform dan aceton. Polimer PANi mempunyai dua gugus berulang, yaitu gugus tereduksi dan gugus teroksidasi. Gugus-gugus tersebut mengandung molekul-molekul berbentuk cincin benzoid dan cincin kuinoid yang dihubungkan satu sama lain oleh atom nitrogen melalui ikatan amina ( $-\text{NH}-$ ) dan imina ( $-\text{N}=\text{}$ ) (Setianingsih dkk., 2014).

## 2.6 Sifat Konduktivitas PANi

Mekanisme peningkatan konduktivitas pada PANi disebabkan oleh kehadiran polaron pada saat proses doping. Polaron ini timbul akibat protonasi dari imin nitrogen. Mekanisme protonasi diawali oleh larutan asam yang terionisasi oleh aquades menjadi ion  $H^+$  dan  $A^-$ . Pada gugus teroksidasi pasangan elektron bebas dari atom N akan cenderung mengikat ion  $H^+$  secara kovalen dan untuk mempertahankan kenetralannya maka ion  $A^-$  akan cenderung tertarik secara ionik dengan atom N. Protonansi ini sangat dipengaruhi oleh keadaan oksidasi dari polianilin dan pH selama proses polimerisasi. Protonasi sempurna didapatkan pada keadaan teroksidasi setengah (basa emeraldin). Proses doping ini dapat meningkatkan konduktivitas PANi sampai orde  $10^{10}$ . Konduktivitas dari polimer konduktif meningkat seiring peningkatan konsentrasi doping (Mac Diarmid dkk., 2001). Pada polimer konduktif PANi, konduktivitasnya juga dipengaruhi oleh pH. Dalam kondisi asam, PANi akan menjadi konduktif sedangkan pada saat pH tinggi maka PANi akan berubah menjadi insulator (Epstein dkk., 1987).

PANi yang teroksidasi, akan kehilangan atom H yang berikatan kovalen dengan atom N di sebelah cincin benzoid. Penarikan atom H tersebut menyebabkan atom N tidak stabil karena memiliki satu elektron yang tidak berpasangan (polaron). Elektron pada atom N tersebut akan berikatan dengan elektron dari atom C pada cincin benzoid, sehingga mengubah cincin benzoid menjadi kuinoid dan mengubah ikatan amina menjadi imina. Sebaliknya pada PANi yang tereduksi atom N yang mengapit cincin kuinoid akan menangkap atom H, sehingga akan mengubah cincin kuinoid menjadi cincin benzoid dan mengubah ikatan imin menjadi amin (Setianingsih, 2014).



**Gambar 2.5.** Struktur Polianilin pada tingkat oksidasi yang berbeda

(a) Pernigranilin (b) Emeraldin (c) Leukoemeraldin

Untuk menentukan sifat oksidasinya, dapat dilihat dari nilai  $y$  pada struktur umum polianilin, yang menunjukkan struktur molekul PANi berkisar antara 0 dan 1. PANi terdapat dalam berbagai derajat oksidasi dan protonasi. Kedua hal ini menentukan bentuk dan sifat kimia PANi (Mihardi, 2008). Berdasarkan derajat oksidasinya, PANi dapat ditemukan dalam tiga bentuk, yakni Leukoemeraldin (LEB/ bentuk tereduksi penuh), Emeraldin (EB/ bentuk setengah teroksidasi), dan Pernigranilin Base (PNB/bentuk teroksidasi penuh). Ketiga bentuk molekul polianilin ini pertama kali dipelajari oleh Konduktivitas dari polimer konduktif memiliki rentang dari insulator hingga konduktor. Bila  $y = 0$ , PANi berada dalam tingkat teroksidasi penuh maka menghasilkan polimer dalam bentuk basa pernigranilin sedangkan harga  $y = 0,5$  berkaitan dengan tingkat setengah teroksidasi yang menghasilkan polimer dalam bentuk basa emeraldin dan untuk  $y = 1$  berkaitan dengan tingkat tereduksi penuh yang menghasilkan polimer dalam bentuk basa leukoemeraldine (Mac Diarmind DKK., 2001).

PANi memiliki *electric loss* pada proses absorpsi gelombang elektromagnetik dari nilai konduktivitas tersebut sehingga dapat berperan sebagai material RAM. Selain itu, dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa PANi

memiliki konduktivitas sebesar 0,451-0,491 S/cm dan dengan rentang nilai tersebut PANi termasuk bahan semikonduktor. Material diklasifikasikan sebagai semikonduktor jika nilai konduktivitasnya  $10^{-7}$ - $10^2$  S/cm (MacDiarmid,2001).



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Peralatan dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker, gelas ukur, pipet, spatula kaca, spatula besi, penumbuk kuningan atau lumping, mortar, timbangan digital (*digital balance*), *stirring magnetik*, *hot plate*, magnet, *crucible*, oven, *furnace*, *Ultrasonic Cleaner*, pH indicator, aluminium foil, kertas saring, pirometer, ayakan 170 mesh, bola *milling*, *planetary ball milling* dan label.

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu besi dari Tanah Laut Kalimantan sebagai sumber  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Hydrochloric Acid (HCl) 37% (pro analis, Merck), Air destilasi atau Akuades, Barium Karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) (ACS *reagent grade*, MP Biomedicals, LLC), Zinc (Zn) (pro analis, Merck), Dodecyl Benzene Sulfonic Acid (DBSA) (70% wt solution in 2-propanol, pro analis, Aldrich), Es batu, Amonium Peroksidisulfat (pro analis, Merck), Aseton (pro analis, Merck), Amonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), Alkohol 96%, plat baja *grade A* tipe AH-36, cat kapal Aghata primer dan thinner.

#### **3.2 Prosedur Penelitian Tugas Akhir**

Prosedur penelitian tugas akhir ini secara garis besar terdiri dari beberapa tahapan yaitu: (1) preparasi dan pemurnian serbuk batu besi, (2) sintesis Kopresipitasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , (3) sintesis Barium M-Heksaferit, (4) sintesis Polianilin (PANi), (5) pelapisan pada plat baja *grade A* tipe AH-36, dan (6) karakterisasi bahan uji. Berikut ini merupakan penjelasannya :

##### **3.2.1 Preparasi dan pemurnian serbuk batu besi**

Proses Preparasi dan pemurnian serbuk batu besi dilakukan dengan langkah-langkah yakni diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Batu Besi Tanah Laut Kalimantan ditumbuk dengan menggunakan penumbuk kuningan atau lumpang dan

dilanjutkan menggunakan mortar untuk mereduksi ukuran hingga halus dan diperoleh sampel berupa serbuk.

- b. Serbuk batu besi yang diperoleh diayak dengan ayakan 170 mesh.
- c. Dilakukan separasi magnetik untuk memisahkan serbuk batu besi (magnetik) dengan pengotor (non magnetik).
- d. Serbuk batu besi yang telah diseparasi, dicuci menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan menggunakan media akuades dan alkohol untuk menghilangkan sisa pengotor organik hingga akuades dan alkohol tidak keruh lagi.
- e. Serbuk batu besi dikeringkan untuk kemudian dilakukan pengujian XRF untuk mengetahui tingkat kemurnian Fe dari serbuk batu besi dan XRD untuk mengetahui fase serbuk yang diperoleh. Dimana dalam penelitian kali ini diperlukan fase  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

### 3.2.2 Sintesis Kopresipitasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Proses kopresipitasi hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dilakukan dengan langkah-langkah yakni diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Serbuk batu besi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  disiapkan dan ditimbang sesuai takaran yang diinginkan.
- b. Serbuk besi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilarutkan dalam HCl 37% dan diaduk dengan menggunakan *magnetik stirrer* selama  $\pm 60$  menit dengan temperatur  $70^\circ\text{C}$  pada *hot plate*.
- c. Larutan yang terbentuk disaring dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$  sisa reaksi.
- d. Larutan  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  dititrasi dengan larutan Amonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) hingga mencapai pH 9 agar dapat terbentuk endapan sempurna.
- e. Endapan yang terbentuk dicuci dengan aquades hingga diperoleh pH 7.
- f. Endapan dikeringkan pada temperatur  $100^\circ\text{C}$  sehingga diperoleh prekursor  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

- g. Prekursor  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dikalsinasi pada temperatur  $600^\circ \text{C}$  dengan *holding time*  $\pm 5$  jam hingga diperoleh serbuk kristalin hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

### 3.2.3 Sintesis Barium M-Heksaferit

Proses Sintesis Barium M-Heksaferit dilakukan dengan langkah-langkah yakni diantaranya adalah sebagai berikut.

- a. Disiapkan serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , serbuk  $\text{BaCO}_3$  dan serbuk Zn.
- b. Dilakukan proses *milling* dengan perbandingan antara sampel : alkohol : bola *milling* yakni  $1 : \frac{5}{3} : 5$  dengan kecepatan 150 rpm selama  $\pm 4$  jam dengan waktu henti 30 menit setiap 1 jam.
- c. Serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dicampurkan dengan serbuk  $\text{BaCO}_3$  dan serbuk Zn sesuai dengan perhitungan stoikiometri ke dalam jar *milling* hingga diperoleh campuran *wet milling*.
- d. Campuran hasil *wet milling* dikeringkan pada temperatur  $70^\circ \text{C}$  hingga dapat diperoleh prekursor Barium M-Heksaferit (BaM).
- e. Prekursor BaM yang diperoleh selanjutnya dikalsinasi pada tempertur  $1100^\circ \text{C}$  dengan *rate* naik dan *rate* turun  $3^\circ \text{C}$  permenit, dengan waktu penahanan yang digunakan adalah 8 jam, sehingga diperoleh serbuk kristalin BaM.

### 3.2.4 Sintesis Polianilin (PANi)

Proses Sintesis Polianilin (PANi) dilakukan dengan langkah-langkah yakni diantaranya adalah sebagai berikut.

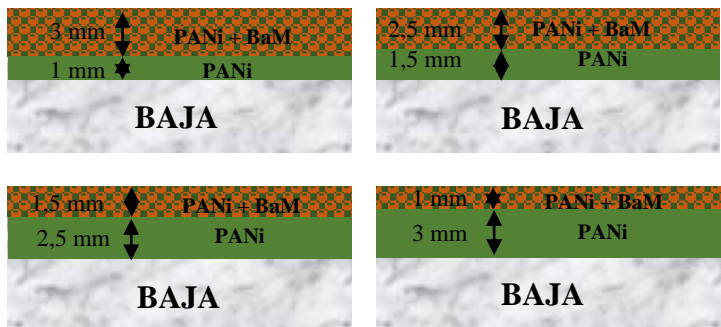
- a. Anilin dan DBSA (Dodecyl Benzene Sulfonic Acid) dilarutkan dalam air destilasi atau akuades selama  $\pm 30$  menit dengan diaduk menggunakan *stirrer* hingga berubah warna menjadi putih keruh
- b. Amonium perokdisulfat (APS) dilarutkan dalam akuades selama  $\pm 30$  menit.
- c. Proses polimerisasi terbentuk dengan menambahkan larutan inisiator (APS) pada larutan (a) pada temperatur  $0^\circ \text{C}$  secara perlahan.
- d. Dilakukan proses polimerisasi selama 8 jam hingga diperoleh gel yang berwarna hijau tua.

- e. Larutan PANi yang terbentuk disaring dan dicuci dengan menggunakan akuades dan aseton sampai air pencucinya bening, kemudian dikeringkan pada temperatur ruang sehingga diperoleh serbuk PANi.

### 3.2.5 Pelapisan pada Plat Baja Grade A Tipe AH-36

Pelapisan *Double Layer* pada plat baja kapal grade A tipe AH-36 dilakukan sebagai berikut:

- Pengadukan cat kapal Aghata primer dan material RAM dilakukan menggunakan pencampuran mekanik dan perbandingan cat kapal agatha dengan material PANi dan BaM adalah 10:1. Pengadukan dilakukan selama 5 menit sampai campuran merata dan homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan  $\pm 8000$  rpm.
- Setelah proses pengadukan selesai, bahan kemudian dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata.
- Dalam penelitian kali ini, digunakan variabel ketebalan pada lapisan material seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1. Campuran dilapiskan pada plat baja kapal grade A tipe AH-36 dengan ketebalan total 4 mm.
- Baja yang telah dilapisi lapisan pertama dikeringkan selama kurang lebih 1 hari, lalu dilanjut pelapisan layer ke dua.
- Desain eksperimen pelapisan *double layer* dengan menggunakan metode tuang (*casting*) sebagai berikut.



**Gambar 3.1.** Desain eksperimen pelapisan *double layer*

**Tabel 3.1.** Variasi ketebalan lapisan *double layer* plat baja grade A tipe AH-36

Lapisan	Jenis	Komposisi Massa (gram)			Variasi Ketebalan Lapisan (mm)			
		PANi	BaM	Cat	A	B	C	D
<b>Layer 1</b>	PANi	1	-	10	1	1,5	2,5	3
<b>Layer 2</b>	PANi + BaM	0.285	0.715	10	3	2,5	1,5	1

### 3.2.6 Karakterisasi Bahan Uji

Karakterisasi material pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa pengujian, diantaranya.

#### a. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Pengujian XRF digunakan untuk mengukur komposisi elemen dan oksida dari suatu material. Sinar X sumber saat mengenai sampel akan dipantulkan oleh atom-atom material. Pancaran sinar X yang dihasilkan dari proses ini disebut analisis *X-Ray Fluorescence*.

#### b. *Difraksi Sinar-X (XRD)*

Difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) atau yang dikenal dengan XRD, merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Prinsipnya adalah pada saat suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Prngujian XRD dilakukan di Departemen Teknik Material Metalurgi ITS.

#### c. *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy (FTIR)*

*Fourier Transform Infra Red Spectroscopy* (FTIR) merupakan metode bebas reagen, tanpa penggunaan radioaktif dan dapat mengukur kadar hormone secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip kerja FTIR adalah mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan (Sankari, 2010). Pengujian spektroskopi FTIR

dilakukan di Laboratorium instrumen jurusan Kimia dan juga Teknik Material Metalurgi ITS. Alat ini memiliki 20 bilangan gelombang ( $V_m = 1/\lambda$ ) berada pada kisaran  $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$  atau pada panjang gelombang  $2,5\text{ }\mu\text{m}\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$ .

**d. *Scanning Electron Microscopy (SEM)***

SEM merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk mengetahui hubungan kausal antara variabel-variabel laten dan variabel-variabel teramati (Bollen, 1989). Pengujian sampel dengan menggunakan SEM akan menghasilkan keluaran berupa komposisi dan morfologi dari bahan tersebut. SEM sangat cocok digunakan untuk mendapatkan hasil pengamatan permukaan kasar dengan pembesaran berkisar antara 20 sampai 500.000 (Anggraeni, 2008). Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Pengujian ini menggunakan alat SEM EVO MA 10 dengan perbesaran hingga 1.000.000 kali.

**e. *Four Point Probe (FPP)***

*Four Point Probe* (FPP) digunakan sebagai alat karakterisasi konduktifitas listrik material. Prinsip kerja dari FPP yaitu dengan menggunakan 4 *probe* sejajar. 2 *probe* ditengah digunakan untuk mengukur tegangan dan 2 *probe* ditepi digunakan untuk mengukur arus sampel. Terdapat 2 tipe metode pengukuran dengan FPP yaitu pengukuran resistivitas sampel *bulk* dan *thicksheet*. Pengukuran metode bulk diasumsikan bahwa ketebalan sampel harus lebih besar daripada jarak antar probe, sedangkan pengukuran dengan metode *thicksheet* diasumsikan bahwa ketebalan sampel harus lebih kecil daripada jarak antar probe. Pada karakterisasi penelitian ini digunakan metode *thicksheet*. Pengujian FPP dilakukan di Laboratorium Keamik Jurusan Fisika ITS.

**f. *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)***

Pengujian VSM dilakukan untuk memperoleh kurva histeris magnetisasi suatu bahan, baik sebagai fungsi temperatur (maksimal 300 K) dan sebagai fungsi medan luar (maksimal  $\pm 1,2$

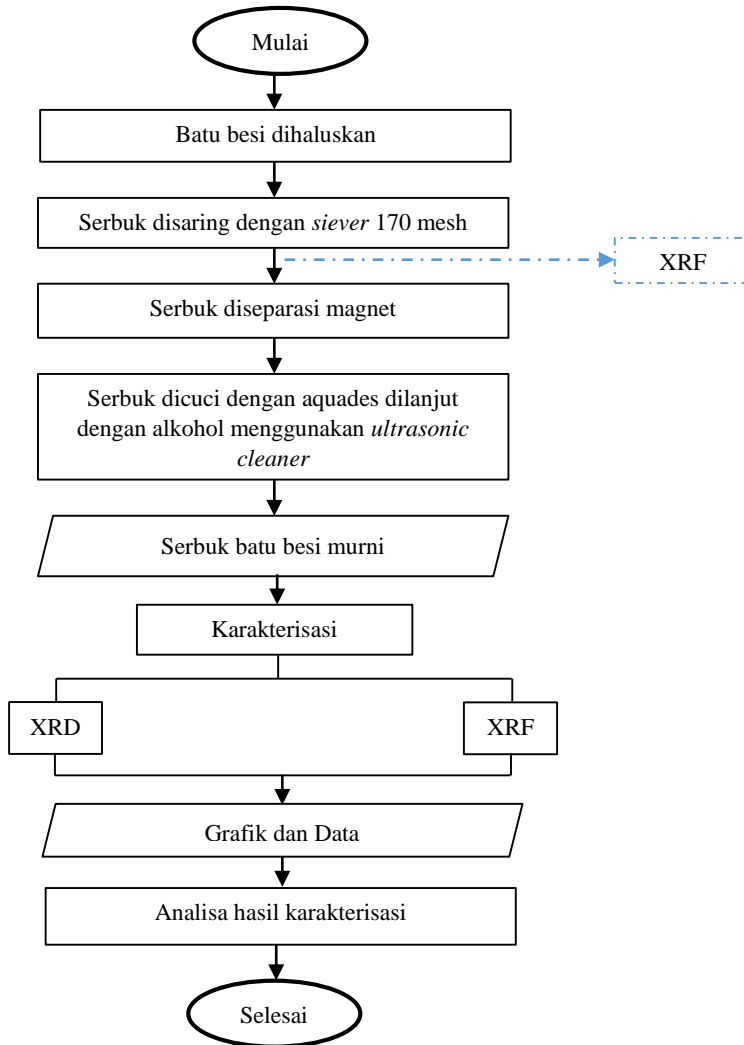
T). Pengujian VSM dilakukan di BATAN Serpong. Pengujian tersebut menggunakan VSM tipe OXFORD VSM 1,2H.

**g. Vector Network Analyzer (VNA)**

Uji VNA (Vector Network Analyzer) digunakan untuk mengetahui permitivitas dan permeabilitas material. Dari data permitivitas dan permeabilitas yang diperoleh tersebut dapat dihitung besarnya impedansi hingga menghasilkan 6 kurva *reflection loss* terhadap frekuensi yang tidak lain adalah besar penyerapan gelombang mikro oleh bahan material tersebut (Subiyanto, 2011). *Output* dari pengukuran akan diperoleh data nilai *reflection loss* dalam satuan desibel (dB). Pengukuran VNA secara akurat adalah perbandingan kompleks dari sinyal terpantul (refleksi) dengan sinyal awal (S11) sebagaimana perbandingan antara sinyal tertransmisi (terpancar) dengan sinyal awal (S21). Pengukuran dilakukan di LIPI Bandung dengan menggunakan VNA ADVANTEST tipe-3770.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

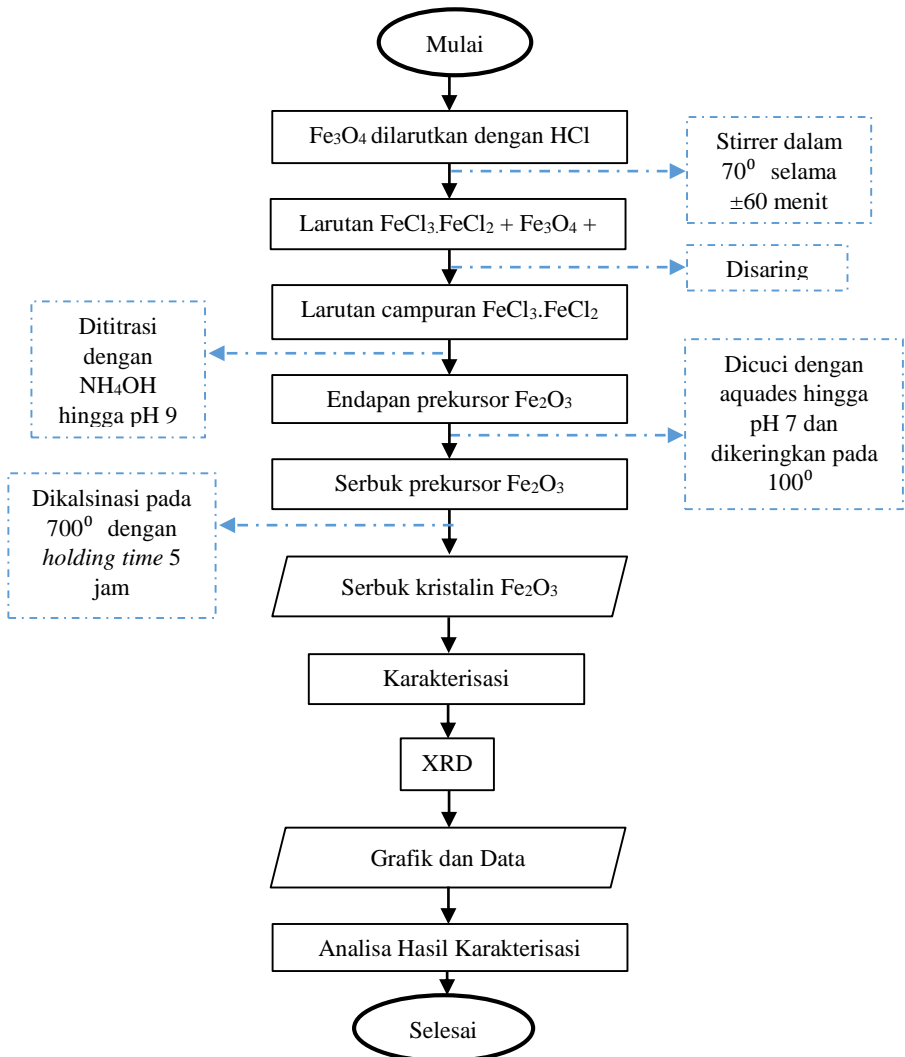
#### 3.3.1 Preparasi dan Pemurnian Batu Besi



**Gambar 3.2.** Diagram alir preprasi dan pemurnian batu magnet

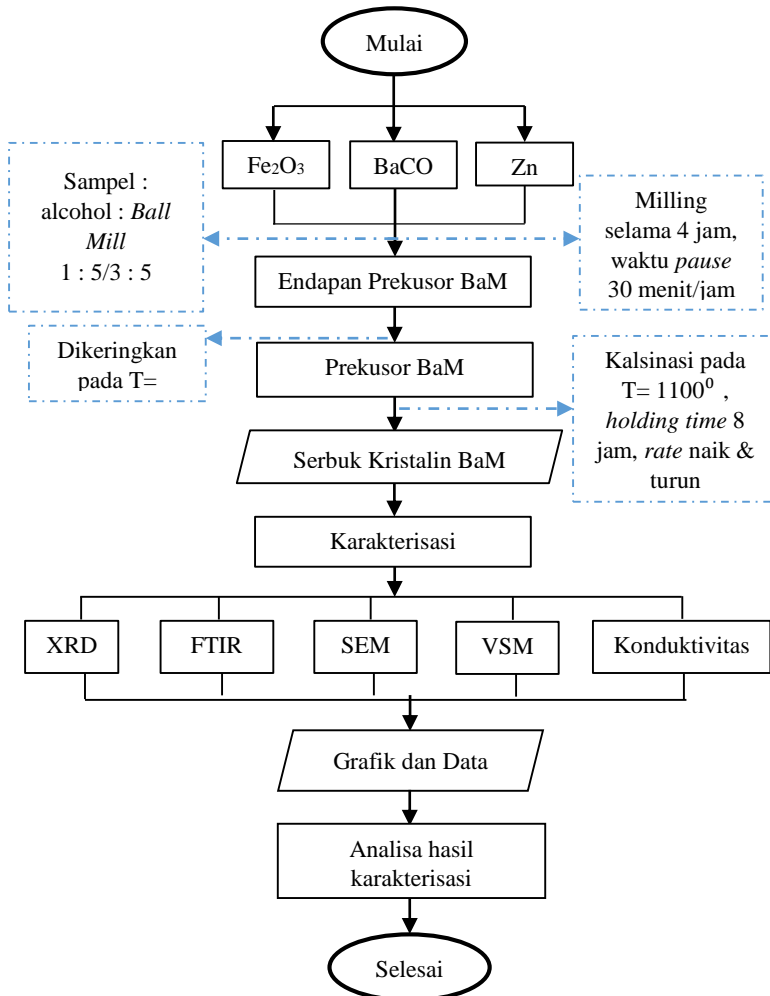


### 3.3.2 Sintesis dan Kopresipitasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$



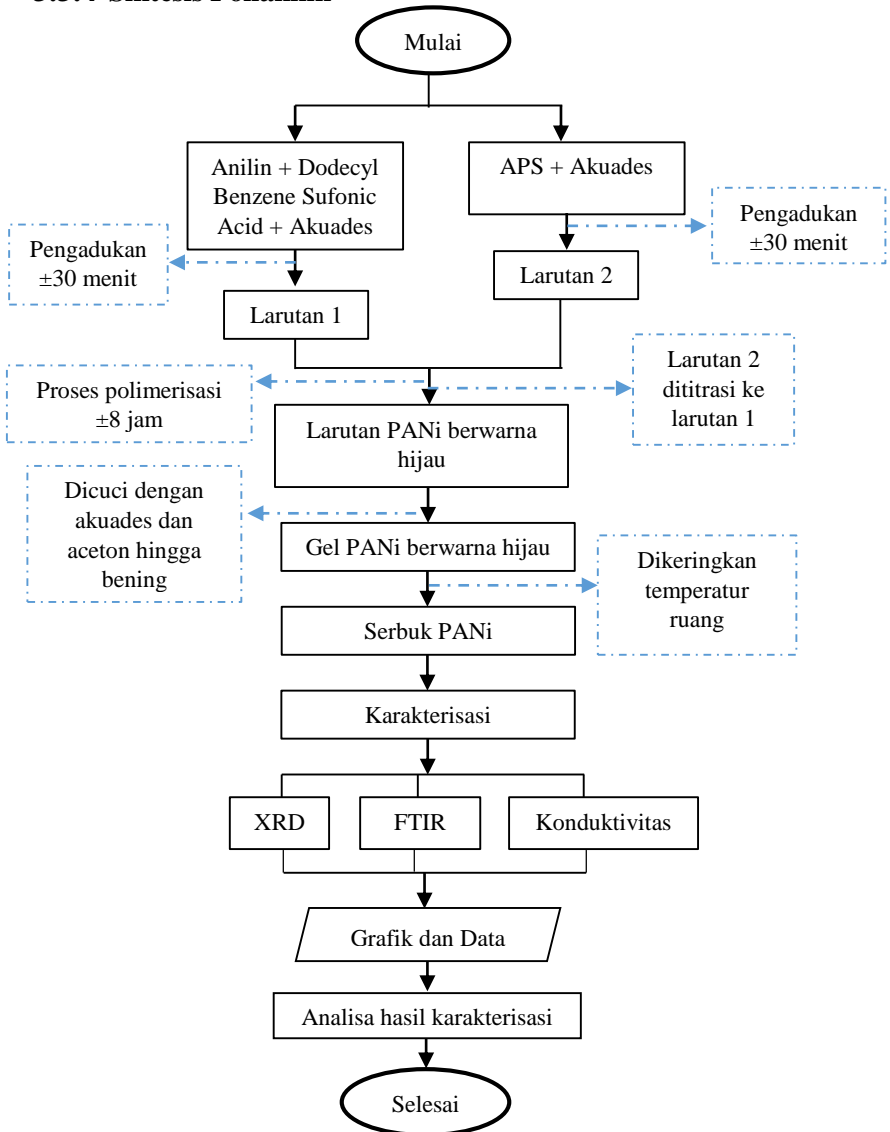
**Gambar 3.3.** Diagram alir sintesis dan kopresipitasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

### 3.3.3 Sintesis Barium M-Heksaferit



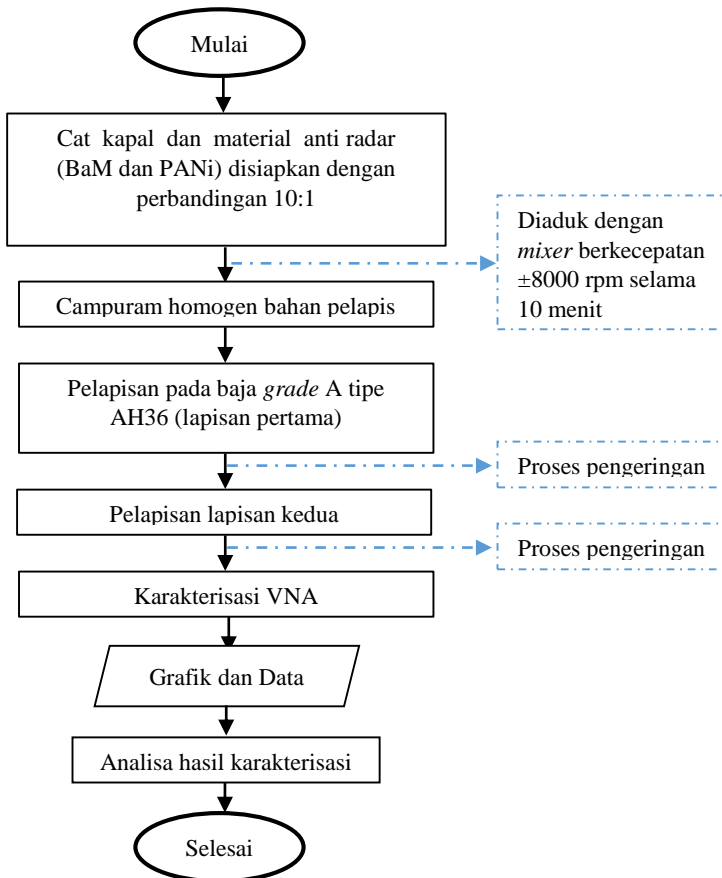
**Gambar 3.4.** Diagram alir sintesis Barium M- Heksaferit

### 3.3.4 Sintesis Polianilin



**Gambar 3.5.** Diagram alir sintesis Polianilin

### 3.3.5 Pelapisan *double layer*



**Gambar 3.6.** Diagram alir pelapisan *double layer*

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pemurnian dan Preparasi Batu Besi**

Penelitian kali ini terdiri dari 5 tahapan utama, yakni preparasi dan pemurnian batu besi, sintesis dan kopresipitasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sintesis Barium M-Heksaferit, sintesis Polianilin, dan juga pelapisan *double layer*. Dimana material sumber ion Fe yang digunakan sebagai bahan dasar berasal dari bahan alam, yakni batu besi Tanah Laut Kalimantan Selatan. Sebelum dilakukan pemurnian dan preparasi, batu besi yang telah direduksi ukurannya dikarakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) dengan tujuan untuk mengetahui prosentase kandungan unsur dan tingkat kemurnian ferrit dalam batu besi. Dari karakterisasi XRF yang dilakukan, diperoleh prosentasi Fe pada serbuk besi Tanah Laut Kalimantan dengan kandungan dan tingkat kemurnian yang sangat tinggi, yakni 91.04%. Hal ini menunjukkan bahwa Serbuk Besi dari Batu Besi Tanah Laut Kalimantan sangatlah baik untuk dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan Barium M-Heksaferit.

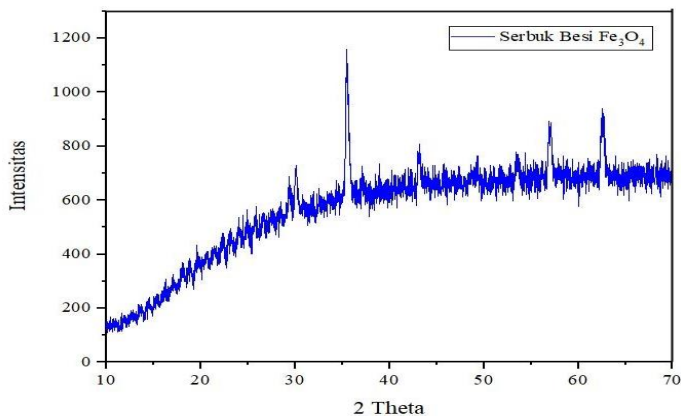
Proses selanjutnya adalah pemurnian serbuk besi, yang terdiri dari dua tahapan, diantaranya adalah separasi magnetik dan pencucian dengan *ultrasonic cleaner*. Proses separasi magnetik dilakukan dengan menggunakan magnet permanen dengan tujuan untuk memisahkan material magnet dan *non* magnetiknya. Sedangkan proses pencucian dengan *ultrasonic cleaner* dilakukan dengan menggunakan media alkohol 96%, dengan tujuan untuk menghilangkan sisa pengotor organik yang mungkin menempel pada partikel besi. Sehingga dari proses pemurnian ini diharapkan tingkat kemurnian Fe semakin bertambah. Untuk mengetahui kandungan dan tingkat kemurnian Fe setelah pemurnian melalui dua tahapan tersebut, maka haruslah dilakukan karakterisasi XRF. Dari karakterisasi XRF yang telah dilakukan diperoleh peningkatan kandungan Fe, yakni 98,55%. Tabel 4.1 berikut menunjukkan kandungan unsur pada serbuk besi baik sebelum maupun setelah dilakukan pemurnian.

**Tabel 4.1** Data Hasil Pengujian XRF Batu Besi Tanah Laut

Unsur	Sebelum Pemurnian (%)	Sesudah Pemurnian (%)
<b>Fe</b>	91,04	98,55
<b>Si</b>	3,3	-
<b>P</b>	0,2	-
<b>Ca</b>	2,46	0,35
<b>V</b>	0,035	-
<b>Cr</b>	0,1	0,097
<b>Mn</b>	0,31	0,26
<b>Ni</b>	0,073	0,08
<b>Cu</b>	0,76	0,1
<b>Br</b>	0,43	-
<b>Rb</b>	0,55	0,69
<b>La</b>	0,10	0,05
<b>Eu</b>	0,60	-
<b>Os</b>	0,2	-
<b>Yb</b>	-	0,08

Berdasarkan tabel 4.1 tersebut, dapat diketahui terjadi peningkatan kandungan unsur Fe dari 91,04% menjadi 98,55% dan penurunan unsur-unsur pengotornya, seperti pada Ca, Cr, Mn, Cu, dan La. Serta terdapat beberapa unsur yang hilang, yakni diantaranya Si, P, V, Br, Eu, dan Os.

Dalam pembentukan Barium M-Heksaferit jenis Ion Fe yang dibutuhkan adalah Ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Yang mana dapat ditemukan dari mineral Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) maupun Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Sedangkan bijih utama unsur logam besi terdapat dalam beberapa bentuk mineral, yakni diantaranya Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Limonit ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), dan Siderit ( $\text{FeCO}_3$ ). Oleh karena itu, untuk mengetahui jenis fasa yang terbentuk dalam serbuk besi tersebut perlu dilakukan karakterisasi XRD (*X-ray Diffraction*) pada serbuk besi yang telah dimurnikan. Karakterisasi XRD dilakukan dengan menggunakan sumber radiasi Cu-K $\alpha$  ( $\lambda_1=1,540598$  nm dan  $\lambda_2=1,544426$  nm). Berdasarkan hasil karakterisasi XRD yang telah dilakukan, didapatkan pola difraksi yang terbentuk adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.1.** Pola Difraksi Serbuk Besi

Selanjutnya pola difraksi yang terbentuk dianalisa dengan menggunakan *software Match2!*, yang dilakukan dengan mencocokkan puncak-puncak yang dihasilkan dari pengujian XRD dengan pola difraksi data base yang telah tersedia. Berdasarkan data [PDF 00-076-1849] diperoleh fasa dominan serbuk besi adalah fasa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), dengan prosentase yakni sebesar 100%.

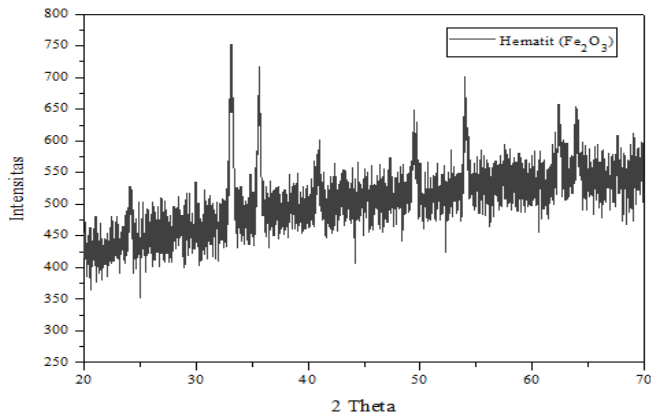
#### 4.2 Hasil Sintesis Kopresipitasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Untuk memperoleh Ion  $\text{Fe}^{3+}$  dari mineral hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), maka serbuk besi dengan fasa dominan magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) hasil pemurnian perlu dilakukan sintesis lebih lanjut. Adapun sintesis yang dilakukan yakni dengan menggunakan metode kopresipitasi. Metode ini merupakan sintesis senyawa dengan prinsip mengendapkan lebih dari satu substansi secara bersamaan pada saat melewati titik jenuh. Metode kopresipitasi ini sendiri mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya adalah menghasilkan tingkat kemurnian yang tinggi, dengan ukuran *grain* yang dihasilkan dapat dalam orde nano, melalui proses pengendapan yang sederhana, tidak membutuhkan waktu yang lama, dan dapat bekerja pada temperatur yang rendah.

Pada proses kopresipitasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ini membutuhkan serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebagai komponen utama. Proses kopresipitasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ini diawali dengan melarutkan serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan  $\text{HCl}$  hingga diperoleh larutan asam  $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Kemudian dilakukan penyaringan untuk memisahkan  $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  tersebut, untuk selanjutnya diperoleh  $\text{FeCl}_2 \cdot \text{FeCl}_3$  dalam keadaan asam dan dititrasi dengan larutan amonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) hingga mencapai  $\text{pH} \approx 9$  (dalam keadaan basa). Proses hidrolisis ini bertujuan untuk menghasilkan endapan sempurna  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Setelah proses hidrolisis, kemudian dilanjutkan dengan proses penetralisir, yakni untuk menghilangkan sisa ion  $\text{Cl}^-$  dan impuritas lainnya yang memiliki massa jenis yang lebih ringan dan memungkinkan terjebak dalam endapan namun tidak terjadi penggabungan dalam kristal. Proses pentralisir ini dilakukan dengan menambahkan aquades hingga diperoleh endapan dengan  $\text{pH} \approx 7$ . Kemudian endapan disaring untuk dipisahkan dengan pelarutnya dan dikeringkan, sehingga diperoleh serbuk prekursor  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang nantinya dikalsinasi pada temperatur  $700^\circ \text{C}$  dengan *holding time* 5 jam. Proses ini dilakukan berdasarkan penelitian Awal (2017). Transformasi fasa dari magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menjadi alfa hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) terjadi pada temperatur kurang dari  $300^\circ \text{C}$  hingga temperatur tinggi. Sedangkan pembentukan fasa ini akan semakin cepat pada temperatur di atas  $520^\circ \text{C}$ , dengan 70-90% sampel menjadi fasa hematit dalam waktu 60 menit (Rosyidah DKK, 2014).

Dari proses sintesis ini diharapkan memperoleh fasa hematit, yang merupakan fasa utama yang dibutuhkan untuk pembentukan Barium M-Heksaferit. Untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari proses sintesis tersebut, dilakukan pula karakterisasi XRD pada sudut  $20^\circ$  -  $70^\circ$  dengan sumber radiasi  $\text{Cu-K}\alpha$  ( $\lambda_1 = 1,540598 \text{ nm}$  dan  $\lambda_2 = 1,544426 \text{ nm}$ ). Berdasarkan hasil karakterisasi XRD yang telah dilakukan, didapatkan pola difraksi yang terbentuk adalah sebagai berikut.





**Gambar 4.2.** Pola Difraksi Hematit

Sama seperti sebelumnya, pola difraksi yang terbentuk dianalisa dengan menggunakan *software Match2!* dan Dari pengamatan yang dilakukan diperoleh puncak-puncak utama yakni pada sudut ( $2\theta$ )  $24,11^\circ$ ,  $33,13^\circ$ ,  $35,59^\circ$ ,  $40,93^\circ$ ,  $49,47^\circ$ ,  $54,05^\circ$ ,  $62,39^\circ$ , dan  $63,97^\circ$ , yang berdasarkan data [PDF 00-087-1164] mengkonfirmasi bahwa dengan pemanasan (kalsinasi) di atas  $600^\circ\text{C}$  mengakibatkan terjadinya transformasi fasa dari fasa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) menjadi fasa Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) 100%, yang dalam hal ini temperatur kalsinasi yang digunakan adalah  $700^\circ\text{C}$  dengan *holding time* 5 jam.

### 4.3 Hasil Sintesis Material Penyerap Radar

Seperti yang telah kita ketahui, Material Penyerap Radar (RAM) merupakan suatu material yang mempunyai kemampuan untuk menyerap gelombang elektromagnetik dalam orde gelombang mikro. Sehingga bahan dasar pembuatan RAM harus mempunyai dua sifat utama, yakni material yang bersifat magnetik dan material yang bersifat dielektrik untuk dapat memaksimalkan nilai penyerapan gelombang mikro. Dalam penelitian kali ini, terdapat dua bahan yang digunakan, yakni Barium M-Heksaferit sebagai material magnetik dan

Polianilin sebagai material dielektrik. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing material yang digunakan.

#### 4.3.1 Material Magnetik (Barium M-Heksaferit)

Telah dijelaskan bahwa pembuatan Barium M-Heksaferit (BaM) membutuhkan Ion  $\text{Fe}^{3+}$  yang banyak terdapat dalam fasa Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Dalam material penyerap radar (RAM) sendiri, Barium M-Heksaferit berperan sebagai material magnetik. Sintesis Barium M-Heksaferit dilakukan melalui metode *solid state reaction* dan membutuhkan beberapa komponen antara lain  $\text{BaCO}_3$ , Zn (sebagai sumber Ion doping  $\text{Zn}^{2+}$ ) dan serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (sebagai sumber Ion  $\text{Fe}^{3+}$ ). Sesuai dengan peranannya, Barium M-Heksaferit merupakan suatu material magnetik dengan saturasi magnet dan medan koersivitas yang tinggi. Sehingga menyebabkan sifat anisotropik material menjadi meningkat dan dapat melemahkan sifat absorpsinya. Oleh karena itu perlu dilakukan rekayasa sifat kemagnetannya, yakni dengan pemberian dopan Zn (*Zinc*). Pemilihan dopan  $\text{Zn}^{2+}$  ini dikarenakan ion tersebut mempunyai jari-jari ionik yang hampir sama dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$ , yakni 0,074 nm dan 0,065 nm. Selain itu, ion Zn yang bersifat diamagnetik dan dianggap mampu mereduksi sifat ferromagnetik pada ion  $\text{Fe}^{3+}$  atau dengan kata lain mengubah sifat *hardmagnet* dari Barium M-Heksaferit menjadi *softmagnet*. Namun, adanya ion Zn sebagai dopan ini tidak akan mengubah struktur kristal dari Barium M-Heksaferit itu sendiri. Pada penelitian kali ini, dopan Zn yang diberikan yakni sebesar 0,9 yang mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Awaln dan Zainuri (2017).

Berdasarkan penelitian Awaln dan Zainuri (2017) untuk mendapatkan serbuk prekursor Barium M-Heksaferit, maka dapat dilakukan tahapan sesuai sub-bab 3. 2. 3, dimana larutan serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$ , dan Zn dicampurkan dengan menggunakan *milling* dengan kecepatan 150 rpm dan perbandingan sampel : alkohol : *ball mill* adalah 1 : 5/3 : 5. Proses *milling* ini dilakukan selama 4 jam, dengan waktu *pause* 30 menit/jam. Hal ini dilakukan untuk menghomogenkan ketiga komponen material yang digunakan tersebut. Selain itu, dengan

waktu yang semakin lama maka diharapkan akan mereduksi ukuran material. Semakin kecil ukuran material, akan mengakibatkan semakin luas permukaan yang ada. Semakin luas permukaan, maka interaksi material satu dengan yang lain akan semakin besar. Sehingga mempermudah pembentukan prekursor Barium M-Heksaferit. Selanjutnya prekursor Barium M-Heksaferit dikalsinasi pada temperatur  $1100^0$  C dengan *rate* naik dan *rate* turun  $3^0$  C permenit, dengan *holding time* yang digunakan adalah 8 jam. Melalui proses kalsinasi ini bertujuan untuk membentuk fasa primer  $BaFe_{12-x}Zn_xO_{19}$  dan mengurangi impuritas atau pengotor yang masih tersisa dalam prekursor Barium M-Heksaferit. Yang mana saat proses kalsinasi berlangsung, partikel-partikel prekursor Barium M-Heksaferit dan  $Fe_2O_3$  akan mendapatkan energi panas yang mengakibatkan atom-atom dalam struktur akan mempunyai energi aktivasi yang lebih besar untuk bervibrasi dan menyusun struktur dalam keadaan stabil. Atom-atom tersebut dapat berdifusi baik secara interstisi (menyusup) maupun secara substitusi. Namun, dalam penelitian kali ini, terjadi difusi substitusi ion  $Fe^{3+}$  oleh ion  $Zn^{2+}$  dalam struktur Barium M-Heksaferit. Yang mana proses ini cenderung terjadi pada atom dengan jari-jari yang hampir sama. Setelah proses kalsinasi akan diperoleh serbuk Barium M-Heksaferit yang berwarna coklat keunguan.

#### 4.3.2 Material Dielektrik (Polianilin)

Polianilin merupakan suatu polimer dengan sifat yang unik, yakni mempunyai stabilitas termal yang baik dan konduktivitas yang tinggi pada frekuensi mikro. Dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya, PANi lebih mudah untuk disintesis baik (Syamsir dll, 2012). Pada penelitian kali ini Polianilin dibuat dari bahan dasar monomer anilin ( $C_6H_5NH_2$ ) dan doping DBSA yang disintesis menggunakan metode polimerisasi. Adanya doping ini dapat meningkatkan nilai konduktivitas pada PANi (MacDiarmid, 2001). Pembuatan Polianilin sendiri dibantu dengan adanya larutan inisiator yang dibuat dari serbuk APS atau Ammonium Perokdisulfat  $(NH_4)_2S_2O_8$  yang dilarutkan dengan aquades, yang berfungsi

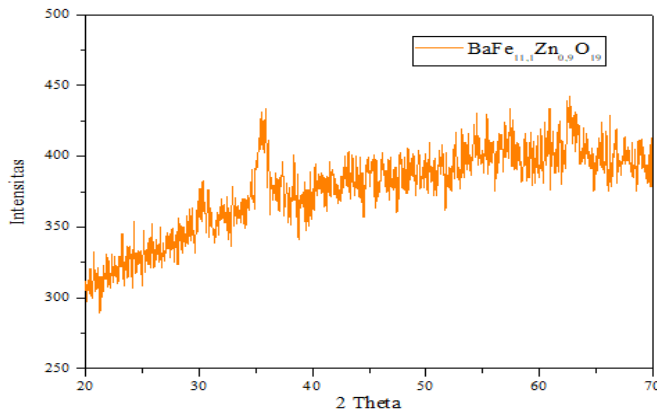
untuk membantu mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam hal ini, proses polimerisasi dilakukan pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  selama 8 jam. Hal tersebut bertujuan untuk mengubah rantai monomer menjadi polimer (Nunisa dan Zainuri, 2012). Selama proses polimerisasi berlangsung, terjadi beberapa kali perubahan warna. Proses awal polimerisasi dikenal dengan proses inisiasi, pada proses ini menunjukkan terjadinya reaksi kimia antara inisiator dengan monomer anilin dan diindikasikan dengan larutan yang berwarna kuning dan perlahan-lahan warna berubah menjadi hijau muda kemudian menjadi warna hijau tua. Proses selanjutnya adalah propagasi, dimana monomer – monomer anilin akan saling berikatan membentuk polianilin. Tahapan selanjutnya adalah proses terminasi, dimana warna larutan berubah menjadi hijau tua, yang menunjukkan bahwa polianilin mulai terbentuk dan mengendap di dalam campuran (Ristiani dan Zainuri, 2016).

Seperti yang telah disebutkan, pendopingan dilakukan untuk meningkatkan nilai konduktivitas dari Polianilin, yakni dengan protonasi doping asam kuat. Proses protonasi ini menghasilkan cacat rantai, sehingga terdapat bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik. Pemberian doping ini akan meningkatkan nilai konduktivitas PANi sampai orde  $10^{10}$  (MacDiarmid, 2001). Nilai konduktivitas polimer konduktif juga akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi doping. Pada polimer konduktif PANi, nilai konduktivitasnya juga dipengaruhi oleh pH. Yang mana dalam kondisi asam, PANi akan menjadi konduktif, namun pada saat pH tinggi, maka PANi akan berubah menjadi insulator (Epstein dkk, 1987). Pemilihan DBSA sebagai doping dikarenakan DBSA merupakan salah satu jenis asam kuat yang dapat digunakan sebagai doping dan surfaktan. Sehingga dengan adanya pendopingan dengan DBSA mampu membuat Polianilin yang merupakan salah satu bentuk *emeraldin base* dapat diubah menjadi *emeraldine salt*. *Emeraldine salt* merupakan garam yang bersifat konduktif. Dimana proton-proton ditambahkan ke situs-situs  $-\text{N}=$ , sementara jumlah elektron pada rantai tetap,

sehingga mengakibatkan adanya cacat rantau dan terdapat bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik.

### 4.3.3 Identifikasi Fasa Material Penyerap Radar (RAM)

Untuk mengetahui jenis fasa yang terbentuk pada material penyerap radar, maka dilakukanlah karakterisasi *X-Ray Diffraction* pada sudut  $2\theta$  dari  $20^\circ$  -  $70^\circ$  dengan sumber radiasi Cu-K $\alpha$  ( $\lambda_1=1,540598$  nm dan  $\lambda_2=1,544426$  nm). Seperti yang telah dilakukan sebelumnya, hasil karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dianalisis dengan *software Match2!* untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk pada material penyerap radar (RAM) yang telah disintesis tersebut. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa pembuatan material penyerap radar (RAM) membutuhkan dua komponen utama, yakni material yang bersifat magnetik dan material yang bersifat konduktif, yang dalam penelitian kali ini dua bahan yang digunakan adalah Barium M-Heksaferit dan Polianilin. Berikut merupakan hasil XRD dari Barium M-Heksaferit.



**Gambar 4.3.** Pola Difraksi Barium M-Heksaferit

Berdasarkan analisa dengan menggunakan *software Match2!* diperoleh hasil secara kualitatif, yang menunjukkan adanya fasa dominan yakni Barium M-Heksaferit [PDF 00-084-0757] dan fasa sekunder adalah fasa Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) [PDF 00-087-1166].

Selanjutnya untuk menganalisis secara kuantitatif komposisi fasa dan parameter kisinya dilakukan dengan menggunakan metode *Rietveld* dengan *software rietica*. Analisa dilakukan dengan meng-input data CIF yang diperoleh dari pengolahan dengan *software Match2!*, dimana CIF 1009038 untuk fasa Barium M-Heksaferit dan CIF 4002383 untuk fasa hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Berdasarkan hasil hasil *refinement* dengan menggunakan *software rietica* menunjukkan bahwa terdapat 67.33% untuk fasa dominan Barium M-Heksaferit dan 32.67% untuk fasa sekunder hematitnya, dengan tingkat kesesuaian data terhitung dan data terukur (GoF) yang cukup tinggi, yakni sebesar 1,24.

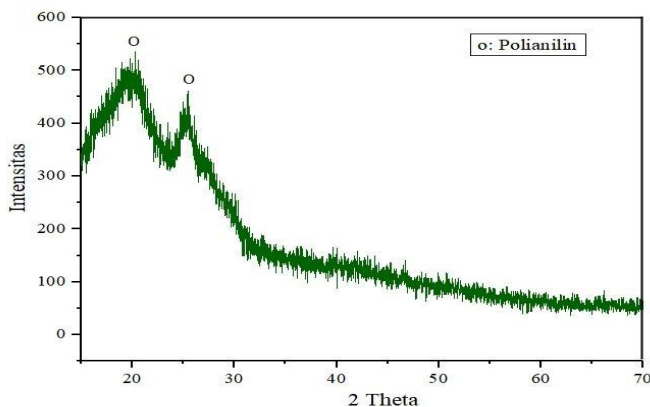
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, Barium M-Heksaferit disintesis dengan mendopingkan ion  $\text{Zn}^{2+}$  ke dalam struktur Barium M-Heksaferit, yang bertujuan untuk mengubah sifat *hardmagnet* menjadi *softmagnet* pada Barium M-Heksaferit. Proses substitusi ion akan terjadi apabila jari-jari ion yang dimiliki oleh kedua unsur tersebut hampir sama. Hal ini mengakibatkan adanya pergeseran nilai parameter kisi, namun tidak mengubah struktur Kristal dari Barium M-Heksaferit itu sendiri. Dalam hal ini Ion  $\text{Fe}^{3+}$  dengan jari-jari 0.065 nm disubstitusi dengan Ion  $\text{Zn}^{2+}$  dengan jari-jari 0.074 nm. Berikut merupakan data hasil analisa dengan menggunakan *software Rietica* pada Barium M-Heksaferit dengan doping  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $x=0,9$  dan hasil penelitian sebelumnya pada Barium M-Heksaferit tanpa doping yang dilakukan oleh Rosyidah DKK (2014), serta pada Barium M-Heksaferit dengan doping  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $x=0,3$ .

**Tabel 4.2** Data Hasil Pengujian XRD Barium M-Heksaferit

Variasi Doping	Fasa BaM (%)	Fasa $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	Kisi BaM		Volume sel satuan
			Kisi a=b (Å)	Kisi c (Å)	
x=0	43,45	56,55	5,880	23,123	692,4
x=0,3	56,64	43,36	5,887	23,211	696,8
x=0,9	67,33	32,67	5,888	23,225	698,9

Dari hasil yang diperoleh tersebut, dapat diketahui adanya pergeseran nilai parameter kisi, serta perubahan nilai volume sel satuan yang lebih besar. Yang mana mengkonfirmasi adanya proses substitusi ion  $\text{Fe}^{3+}$  oleh ion  $\text{Zn}^{2+}$ .

Selain Barium M-Heksaferit, material lain yang digunakan dalam pembuatan RAM kali ini adalah Polianilin. Sama halnya dengan Barium M-Heksaferit, pada material Polianilin juga dilakukan karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*). Berikut merupakan hasil XRD dari Polianilin.



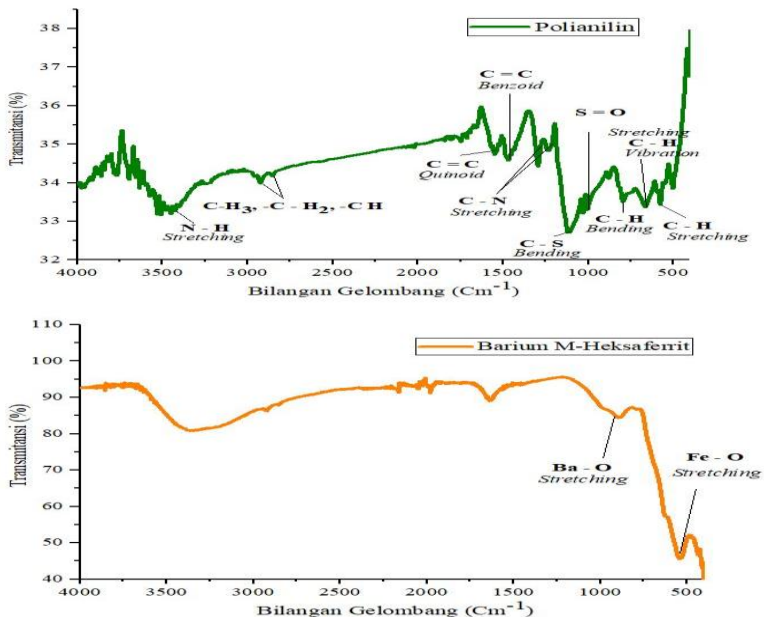
**Gambar 4.4.** Pola Difraksi Polianilin

Berdasarkan gambar 4.4 menjelaskan bahwa Polianilin sebagai material dielektrik telah berhasil disintesis. Terlihat karakteristik dari Polianilin yang mempunyai fasa semikristalin, yang diindikasikan dengan adanya pelebaran puncak difraksi pada sudut ( $2\theta$ ) adalah  $20,315878^0$  dan  $25,4462376^0$ . Dari kedua puncak tersebut mengonfirmasi bahwa telah terbentuk fasa semikristalin Polianilin.

#### 4.3.4 Identifikasi Gugus Fungsi RAM

Dalam proses sintesis material penyerap radar (RAM), setiap molekul dalam masing-masing material penyusun akan saling berinteraksi, baik pada Barium M-Heksaferit maupun pada Polianilin, sehingga mengakibatkan pengikatan molekul-molekul dasar menjadi senyawa tertentu. Sehingga untuk dapat

mengidentifikasi jenis-jenis ikatan molekular yang terbentuk pada material penyerap radar yang telah berhasil disintesis tersebut, maka perlu dilakukan karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) yang berada pada kisaran panjang gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ . Prinsip kerja FTIR sendiri adalah dengan mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah oleh atom yang mengalami vibrasi dan diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan (Dachriyanus, 2004). Berikut merupakan hasil karakterisasi spektroskopi FTIR dari material penyerap radar (Barium M-Heksaferit dan Polianilin).



**Gambar 4.5.** Sepktrum FTIR PANi dan BaM

Gambar 4.5 merupakan hasil karakterisasi spektroskopi FTIR pada material penyerap radar (Barium M-Heksaferit dan Polianilin). Adanya absorbansi inframerah ditunjukkan dengan munculnya lembah maupun puncak pada bilangan gelombang



tertentu. Ikatan yang terbentuk dapat diketahui dengan cara membandingkan data puncak spektra hasil karakterisasi FTIR dengan data spektra referensi. Berikut merupakan hasil analisa ikatan molekular material penyerap radar hasil karakterisasi FTIR dengan data referensi.

**Tabel 4.3** Data Spektroskopi FTIR RAM dan data referensi

Jenis Ikatan	Bil. gelombang referensi ( $\text{Cm}^{-1}$ )	Bilangan gelombang RAM ( $\text{Cm}^{-1}$ )	
		BaM	PANi
<b>Fe-O Stretching</b>	575	542,01	-
<b>C-S Stretching</b>	602	-	576,64
<b>C-H Vibration</b>	665	-	663,53
<b>C-H Bending</b>	798	-	796,63
<b>Ba-O Stretching</b>	891	895,66	-
<b>S=O Stretching</b>	1010	-	1030,02
<b>C-H Bending</b>	1120	-	1116,82
<b>C-N Stretching</b>	1238	-	1232,55
<b>C-N Stretching</b>	1296	-	1294,28
<b>C=C Benzoid</b>	1465	-	1469,81
<b>C=C Quinoid</b>	1550	-	1548,89
<b>C-H<sub>3</sub>, -C-H<sub>2</sub>, C-H</b>	2852	-	1653,05 1747,57
<b>C-H<sub>3</sub>, -C-H<sub>2</sub>, C-H</b>	2924	-	2854,74 2922,25
<b>N=H Stretching</b>	3446	-	3450,77

Ref: (Feng dkk, 2017), (Ristiani dan Zainuri, 2016) dan (Nuraini dkk., 2014)

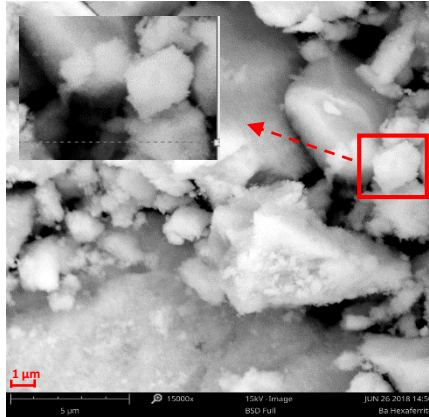
Berdasarkan data spektrum serapan FTIR pada tabel 4.3 tersebut, pada material Barium M-Heksaferit dapat diketahui telah terbentuk ikatan Fe-O *stretching* yang ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang berturut-turut adalah 542,01  $\text{cm}^{-1}$ . Kedua ikatan yang terbentuk ini menunjukkan adanya pembentukan Heksaferit. Selain itu, pada Barium Heksaferit juga diketahui terdapat ikatan Ba-O *stretching* pada bilangan gelombang 895.66  $\text{cm}^{-1}$ . Sehingga, adanya vibrasi

*stretching* pada Fe-O dan Ba-O dalam karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa telah terbentuk Barium Heksaferit.

Sedangkan pada material Polianilin, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wibawanto dan Darminto (2012) untuk menunjukkan bahwa telah terbentuknya fasa konduktif garam emeraldin, maka pada spektrum serapan Polianilin harus terbentuk beberapa vibrasi, yakni diantaranya adalah C-H, C=C, C-N, dan N=H. Pada penelitian kali ini, vibrasi yang terbentuk diantaranya adalah C-H *bending* pada bilangan gelombang  $796,63\text{ cm}^{-1}$  dan  $1116,82\text{ cm}^{-1}$ , C-N *stretching* pada bilangan gelombang  $1232,55\text{ cm}^{-1}$  dan  $1294,28\text{ cm}^{-1}$ , dan C=C *benzoid* pada bilangan gelombang  $1469,81\text{ cm}^{-1}$ , serta C=C *quinoid* pada bilangan gelombang  $1548,89\text{ cm}^{-1}$ . Sehingga, dari beberapa vibrasi utama yang terbentuk pada Polianilin pada penelitian kali ini menunjukkan bahwa telah terbentuknya fasa garam emeraldin konduktif. Selain itu, adanya ikatan kuat (*stretching*) pada S=O pada bilangan gelombang  $1030,02\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan bahwa proses doping dengan dopan DBSA telah berhasil dilakukan.

#### 4.3.5 Analisis Struktur Mikro dan Distribusi Elemen RAM

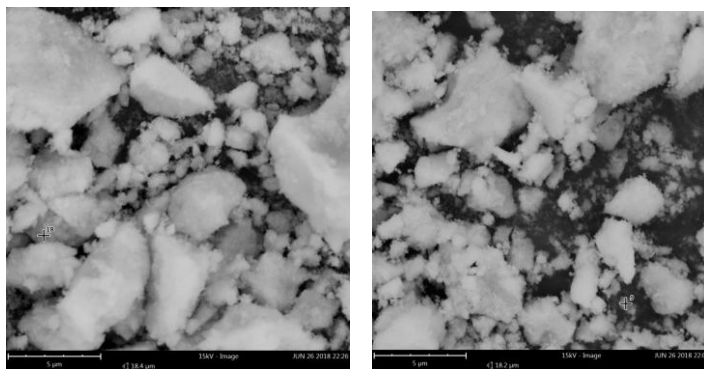
Struktur morfologi atau struktur mikro permukaan material penyerap radar (RAM) dapat diidentifikasi dengan menggunakan katakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Dalam penelitian kali ini, digunakan Barium M-Heksaferit sebagai salah satu komponen utamanya. Yang mana Barium M-Heksaferit sendiri mempunyai struktur Kristal heksagonal yang memanjang pada arah sumbu c. Sehingga dalam pengujian SEM akan diperoleh struktur yang berupa butiran dengan bentuk segienam atau heksagonal. Berikut merupakan hasil karakterisasi SEM pada Barium M-Heksaferit dengan doping Zn pada  $x=0,9$  ( $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ ).



**Gambar 4.6.** Hasil Karakterisasi SEM BaFe<sub>11,1</sub>Zn<sub>0,9</sub>O<sub>19</sub>

Pada penelitian kali ini, Barium M-Heksaferit didoping dengan ion  $\text{Zn}^{2+}$ , namun dari hasil karakterisasi SEM yang telah dilakukan menunjukkan bahwa adanya doping tidak mengubah struktur dasar pada Barium M-Heksaferit, yakni heksagonal. Hasil SEM pada gambar 4.7 tersebut menunjukkan bahwa butiran yang berbentuk segienam atau heksagonal. Dimana butir BaM diperbesar hingga 15.000 kali, diperoleh ukuran partikel yakni sebesar  $\pm 2 \mu\text{m}$ . Pada penelitian kali ini, diperoleh ukuran partikel cenderung besar dibandingkan pada penelitian yang dilakukan oleh Ristiani dan Zainuri (2016) dengan ukuran Barium M-Heksaferit yang diperoleh adalah  $0,233\mu\text{m}$ - $0,979\mu\text{m}$ . Hal ini disebabkan karena pada penelitian yang dilakukan oleh Ristiani dan Zainuri (2016), Barium M-Heksaferit disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi, sedangkan pada penelitian kali ini sintesis Barium M-Heksaferit dilakukan dengan menggunakan metode *solid state reaction*, sehingga akan cenderung diperoleh ukuran partikel yang lebih besar. Selain itu pada proses *milling* yang dilakukan, kemungkinan membutuhkan waktu yang lebih lama. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu yang digunakan dalam proses *milling*, maka akan semakin kecil ukuran partikel yang diperoleh.

Selain itu, dari hasil karakterisasi *scanning* material pada gambar 4.6, terlihat bahwa distribusi ukuran butir yang terbentuk tidak homogen dan partikel-partikel yang cenderung membentuk kumpulan (aglomerasi) yang mungkin terjadi akibat adanya interaksi antar partikel yang saling tarik menarik. Selain itu, ketidakhomogenan ini kemungkinan disebabkan karena kurangnya konsentrasi media pencampur yang bersifat polar. Ketidakhomogenan ini mengakibatkan aspek fisis yang lainnya, seperti interaksi antar partikel lebih kecil. Hal tersebut dikarenakan luas permukaan kontakanya tidak merata dengan baik, sehingga akan mengakibatkan distribusi kehomogenannya ikut rendah. Pada penelitian kali ini teridentifikasi partikel dengan bentuk lain, yang diidentifikasikan sebagai fase hematit. Hal tersebut didukung dari hasil karakterisasi XRD yang juga menghasilkan dua fasa, yakni Barium M-Heksaferit sebagai fasa dominan dan hematit sebagai fasa sekundernya.



**Gambar 4.7.** Hasil Karakterisasi SEM-EDX BaFe<sub>11,1</sub>Zn<sub>0,9</sub>O<sub>19</sub>

Analisis lebih lanjut yakni dengan menggunakan SEM yang dilengkapi dengan *detector disperse energy* (EDX), sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen yang terdapat padat suatu sampel. Yang mana dalam penelitian kali ini dapat digunakan untuk mengetahui persebaran Zn dalam Barium M-Heksaferit secara kualitatif. Selain itu, dengan EDX juga dapat diketahui prosentasi masing-masing elemen yang

terdapat dalam material Barium M-Heksaferit. Berikut merupakan hasil karakterisasi SEM-EDX pada Barium M-Heksaferit terdoping Zn pada  $x=0,9$  ( $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ ). Dari karakterisasi SEM-EDX yang dilakukan dapat diketahui persebaran elemen-elemen pembentuk Barium M-Heksaferit, diantaranya adalah Fe, O, Ba, dan Zn. Sehingga mengkonfirmasi bahwa ion  $\text{Zn}^{2+}$  telah berhasil mensubstitusi ion  $\text{Fe}^{3+}$  pada struktur Barium M-Heksaferit. Prosentase kandungan yang terdapat dalam elemen-elemen pembentuk Barium M-Heksaferit ( $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ ) dapat ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4** Prosentase Persebaran elemen  $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$

Atom	% atom dalam 1 sel		% error
	Karakterisasi	Perhitungan	
Fe	75,2	55,12	0,26
O	21,0	29,03	0,38
Ba	1,3	10,70	7,22
Zn	2,5	5,15	1,06
Total	100	100	

Nilai prosentase hasil pengukuran yang diperoleh melalui karakterisasi SEM-EDX dibandingkan dengan nilai prosentase yang diperoleh dari hasil perhitungan, sehingga nantinya dapat diketahui keakuratan data hasil pengujian. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa hasil karakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX yang diperoleh berbeda dengan hasil perhitungan secara analitik. Pada komponen Fe, apabila ditinjau dari perhitungan analitik, komponen Fe yang terdapat dalam  $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$  adalah 55,12%, sedangkan berdasarkan hasil karakterisasi dengan SEM-EDX diperoleh komposisi Fe adalah sebesar 75,2%. Hal ini disebabkan karena adanya fasa sekunder  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sehingga mengakibatkan adanya perbedaan berat atom. Hal ini juga seperti yang ditunjukkan oleh karakterisasi dengan menggunakan XRD. Dimana pada pengujian XRD Barium M-Heksaferit terbentuk dua fasa, yakni fasa Barium M-Heksaferit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) sebagai fasa utama dan Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sebagai

fase sekunder. Selain itu, dari analisa kuantitatif dengan menggunakan SEM-EDX dapat diketahui bahwa prosentase berat atom Fe dan O lebih besar dibandingkan unsur yang lain. Hal ini dikarenakan unsur Fe dan O merupakan unsur utama dalam pembentukan Barium M-Heksaferit dan Hematit. Oleh karena itu, berdasarkan hasil karakterisasi SEM-EDX dapat dikonfirmasi bahwa  $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$  telah terbentuk dalam material magnetik Barium M-Heksaferit.

#### **4.3.6 Analisis sifat kemagnetan RAM**

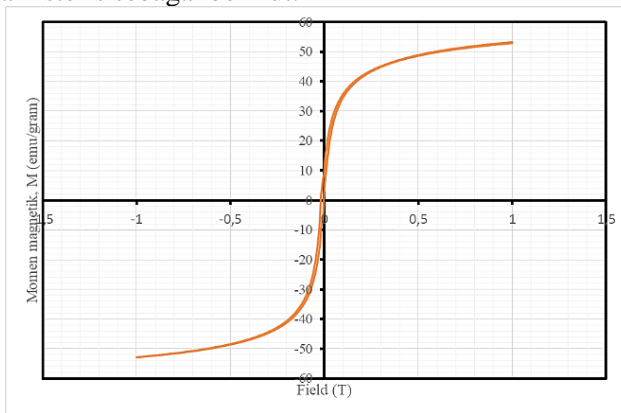
Pada sub-bab sebelumnya telah disebutkan bahwa pada pembentukan material penyerap radar (RAM) penelitian kali ini yang berperan sebagai material magnetik adalah Barium M-Heksaferit, sehingga untuk mengetahui sifat kemagnetan yang terdapat pada Barium M-Heksaferit tersebut perlu dilakukan karakterisasi VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*). Dari pengujian VSM ini diperoleh data berupa kurva histeris, yang terbentuk melalui mekanisme pemberian medan magnet eksternal pada bahan, yang mengakibatkan dipol-dipol magnetik dalam akan sejajar dengan medan magnet dari luar. Semakin kuat medan magnetnya, maka akan semakin banyak domain-domain yang mensejajarkannya. Pada keadaan saturasi, penambahan medan magnet luar tidak akan memberi pengaruh apapun, karena seluruh domain telah disejajarkan. Kemudian, diberikan medan magnet balik hingga mencapai keadaan saturasinya kembali untuk dapat membentuk loop histeris (Ristiani dan Zainuri, 2016).

Dalam menganalisis sifat kemagnetan suatu bahan, terdapat tiga komponen utama yang harus diperhatikan, diantaranya adalah medan koersivitas ( $H_c$ ) merupakan besarnya medan magnet balik yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasi material bernilai nol. Semakin besair nilai koersivitas maka semkin besar pula sifat kemagnetan material (Ristiani dan Zainuri, 2016). Kemudian magnetik sarturasi ( $M_s$ ), yang merupakan kemampuan partikel untuk mempertahankan domain-domain magnetiknya ketika dikenai medan magnet luar. Magnetik saturasi disebut pula sebagai

magnetisasi jenuh, yakni suatu keadaan terjadi kejenuhan, nilai medan magnet  $B$  akan selalu konstan walaupun medan eksternal terus dinaikkan. Semakin besar nilai medan magnet suatu material, maka sifat kemagnetannya juga akan semakin besar. Demikian juga nilai  $H_c$  yang menunjukkan sifat kemagnetan dari suatu bahan. Apabila magnetisasi terus meningkat, maka bahan magnet akan mengalami saturasi (Linda, 2011). Serta magnetik remanensi ( $M_r$ ), yang merupakan remanensi magnet yang tersisa dalam material setelah pengaruh medan magnet luar diabaikan (Ristiani dan Zainuri, 2016). Remanensi terjadi pada saat intensitas medan magnetik  $H$  berharga nol dan medan magnet  $B$  menunjukkan harga tertentu (Linda, 2011).

Barium M-Heksaferit sendiri merupakan material yang bersifat *hardmagnetic* dengan nilai koersivitas ( $H_c$ ) yang tinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rosyidah DKK (2013), dimana Barium M-Heksaferit disintesis tanpa doping diperoleh nilai medan koersivitas ( $H_c$ )  $\sim 0,1734$  Tesla, nilai magnetisasi maksimum  $\sim 16$  emu/g, dan besarnya magnetisasi remanensi ( $M_r$ )  $\sim 8,334$  emu/g. Tingginya nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) tersebut dikarenakan Barium M-Heksaferit bersifat anisotropik. Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Ristiani dan Zainuri (2016), Barium M-Heksaferit disintesis dengan memberikan doping ion  $Zn^{2+}$  pada  $x=0,3$  untuk mereduksi sifat anisotropik pada Barium M-Heksaferit ( $BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$ ) dan diperoleh nilai magnetisasi maksimum  $\sim 33,87$  emu/g, medan koersivitas ( $H_c$ )  $\sim 0,0506$  Tesla, dan besar magnetisasi remanensi ( $M_r$ )  $\sim 14,782$  emu/g. Dari kedua data medan koersivitas tersebut, dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) dan peningkatan nilai magnetisasi maksimum, serta remanesinya ( $M_r$ ) pada saat Barium M-Heksaferit disintesis dengan diberikan doping  $Zn^{2+}$ . Hal ini mengindikasikan adanya perubahan sifat kemagnetan dari  $BaFe_{12}O_{19}$  (Barium M-Heksaferit tanpa doping) yang bersifat *hardmagnetic* menjadi  $BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19}$  (Barium M-Heksaferit dengan doping  $Zn$  pada  $x=0,3$  yang bersifat *softmagnet*. Yang mana terjadi karena adanya ion

$\text{Zn}^{2+}$  sebagai pendoping yang masuk ke dalam struktur  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  menggantikan ion  $\text{Fe}^{3+}$  sehingga mampu mengubah orientasi susunan dipol magnetik dalam satu arah orientasi dan memperkecil momen magnetik total. Kemudian pada penelitian kali ini, Barium M-Heksaferit disintesis dengan pemberian doping  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $x=0,9$ , yang mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Awaln dan Zainuri (2017). Dari pengujian VSM yang telah dilakukan pada penelitian kali ini, diperoleh kurva histeris sebagai berikut.



**Gambar 4.8.** Hasil karakterisasi VSM  $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$

Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat hasil pengukuran VSM pada material Barium M-Heksaferit terdoping  $\text{Zn}^{2+}$  dengan  $x=0,9$  ( $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ ), dimana diperoleh nilai magnetisasi maksimum  $\sim 52,9$  emu/g, medan koersivitas ( $H_c$ )  $\sim 0,0181$  Tesla, dan besar magnetisasi remanensi ( $M_r$ )  $\sim 15,86$  emu/g. Sama halnya dengan penjelasan sebelumnya, berdasarkan data VSM yang telah diperoleh, adanya doping  $\text{Zn}^{2+}$  mengakibatkan terjadinya penurunan nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) dan peningkatan nilai magnetisasi maksimum, serta remanesensinya ( $M_r$ ) pada Barium M-Heksaferit terdoping Zn ( $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ ) tersebut. Perubahan tersebut dapat terjadi karena adanya ion  $\text{Zn}^{2+}$  yang masuk ke dalam struktur  $\text{Fe}^{3+}$  dan mengacak-acak susunan domain magnetik dan menurunkan magnetik totalnya. Secara fisis ketika material



diberikan medan magnet eksternal maka seketika itu momen-momen magnetik akan terpolarisasi searah dengan medan magnet eksternal yang diberikan. Semakin banyak arah orientasi momen dipol magnetiknya, maka lebih banyak pula energi yang dibutuhkan untuk proses polarisasinya, yang mengakibatkan nilai magnetisasi maksimumnya juga akan semakin tinggi.

Berdasarkan kurva yang dihasilkan telah menunjukkan bahwa Barium Heksferit dengan doping  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $x=0,9$  telah berhasil disintesis dan bersifat *softmagnet*. Hal ini ditunjukkan dari luasan kurva hasil pengujian VSM yang sempit, yang menandakan energi yang dibutuhkan dalam proses magnetisasi relatif kecil. Sifat kemagnetan suatu material juga dipengaruhi oleh ukuran Kristal dari suatu material tersebut. Hal ini dikarenakan ukuran Kristal dapat menghambat pergerakan dari dinding domain. Semakin kecil ukuran suatu kristal, maka akan semakin banyak batas butir yang terbentuk, akibatnya semakin banyak pula yang menghambat pergerakan dinding domain, sehingga ketahanan terhadap demagnetisasi akan semakin besar, artinya medan koersivitas ( $H_c$ ) juga akan semakin besar (Saidah dan Zainuri, 2012).

Dapat diketahui, bahwa adanya doping  $\text{Zn}^{2+}$  dapat mengubah sifat Barium M-Heksferit dari *hardmagnet* menjadi *softmagnet*. Selain itu, semakin besar konsentrasi doping  $\text{Zn}^{2+}$ , maka akan semakin kecil nilai medan koersivitas dari Barium M-Heksferit. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ramazan Topkaya (2017).

#### 4.3.7 Analisis sifat kelistrikan RAM

Selain material magnetik, dalam pembuatan RAM juga membutuhkan material yang bersifat dielektrik. Polianilin sendiri tergolong sebagai material semikonduktor dan dielektrik. Hal ini disebabkan karena keduanya mempunyai celah pita yang hampir sama. Sehingga polianilin merupakan material polianilin dengan konduktivitas listrik yang baik. Terdapat 3 jenis konduktivitas material, diantaranya adalah material konduktor, semikonduktor, dan isolator. Material

konduktor sendiri adalah material yang mempunyai kemampuan menghantarkan listrik yang baik, dengan rentang nilai konduktivitas adalah  $10^6 - 10^3$  S/m. Semikonduktor adalah material yang mempunyai daya hantar listrik di antara material konduktor dan isolator, dengan nilai konduktivitas adalah  $10^3 - 10^{-8}$  S/m. Sedangkan isolator merupakan material yang tidak dapat menghantarkan listrik, dengan rentang nilai konduktivitas adalah  $10^{-8} - 10^{-15}$  S/m. Sifat kelistrikan (konduktivitas listrik) dari material penyerap radar (RAM) dikarakterisasi dengan menggunakan *Four Point Probe* (FPP). Sesuai dengan namanya, metode ini menggunakan 4 probe utama, yakni 2 *probe* bagian tepi berperan sebagai penginjeksi arus dan 2 *probe* ditengah sebagai pengukur beda potensial yang muncul. Metode FPP yang digunakan pada penelitian kali ini yakni metode FPP *thick sheet*. Dimana sampel didesain berupa padatan dengan ketebalan dibawah tebal jarak antar *probe*. Konduktivitas listrik sendiri merupakan suatu kemampuan material dalam menghantarkan arus listrik. Dalam penelitian kali ini, karakterisasi *Four Point Probe* (FPP) dilakukan pada Barium M-Heksaferit dan juga Polianilin. Masing-masing material dijadikan padatan dengan dikompaksi, dengan massa yang digunakan masing-masing adalah 0,2 gram, sehingga nantinya diperoleh ketebalan dibawah tebal jarak antar *probe*. Dilakukan dengan cara, keempat *probe* diturunkan hingga menyentuh permukaan sampel.

**Tabel 4.5** Data Hasil Konduktivitas Listrik RAM

Material	Konduktivitas (S/m)	Jenis Bahan
<b>BaFe<sub>11,1</sub>Zn<sub>0,9</sub>O<sub>19</sub></b>	$2,09 \times 10^{-3}$	Semikonduktor
<b>PANi</b>	$4,4 \times 10^{-1}$	Semikonduktor

Dari data hasil karakterisasi tersebut, dapat diketahui nilai konduktivitas pada Barium M-Heksaferit adalah  $\sim 2,09 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ , sedangkan nilai konduktivitas listrik pada Polianilin adalah  $\sim 4,4 \times 10^{-1} \text{ Sm}^{-1}$ . Berdasarkan nilai konduktivitas listriknya, material penyerap radar (RAM) tersebut berada pada

rentang nilai konduktivitas bahan semikonduktor, yakni antara  $10^{-8} - 10^3 \text{ Sm}^{-1}$ .

Dari data tersebut, diperoleh nilai konduktivitas polianilin jauh lebih besar dibandingkan pada Barium M-Heksaferit. Hal ini dikarenakan Polianilin merupakan salah satu bentuk polimer konduktif yang baik. Selain itu, dengan adanya doping DBSA (Asam Kuat) membuat polianilin menjadi lebih konduktif, melalui terbentuknya cacat rantai yang berupa pasangan dikation atau bipolaron, yang berperan sebagai pembawa muatan (Ristiani dan Zainuri, 2016). Jumlah polaron dalam polianilin berpengaruh pada nilai konduktivitas listrik polianilin dan dapat ditinjau dari struktur elektronik dan rantainya. Pada struktur elektronik polaron menimbulkan pita transisi antara pita valensi dan pita konduksi, sehingga mengakibatkan elektron lebih mudah untuk berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi. Sedangkan pada struktur rantainya, adanya proses doping membuat struktur polianilin menghasilkan cacat rantai dan bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik.

Berbeda dengan Polianilin, Barium M-Heksaferit mempunyai nilai konduktivitas yang relatif kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa Barium M-Heksaferit mempunyai kemampuan dalam menghantarkan listrik yang lebih lemah. Sehingga dalam pembuatan material penyerap radar (RAM), Barium M-Heksaferit yang berperan sebagai bahan magnetik perlu dipadukan dengan material yang mempunyai konduktivitas yang tinggi, seperti Polianilin.

#### **4.4 Hasil Pelapisan pada Plat Baja Grade A Tipe AH-36**

Mekanisme penyerapan gelombang mikro terbagi dalam dua aspek, yakni desain geometri (RAS) dan pelapisan dengan material (RAM). RAS atau *radar absorbing structure* dilakukan dengan manipulasi bentuk objek menjadi bersudut, sehingga pantulan gelombang radar tidak dapat ditangkap oleh *receiver*. Sedangkan pelapisan material (RAM) dilakukan dengan melapiskan suatu material yang memiliki kemampuan dalam menyerap gelombang elektromagnetik,

sehingga nantinya gelombang yang dipantulkan akan sangat lemah (Cihangir Kemal Yuzcelik, 2003). Dalam penelitian kali ini, aspek yang digunakan adalah dengan merekayasa suatu material yang bersifat magnetik dan dielektrik, yakni Barium M-Heksaferit terdoping  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $x=0,9$  sebagai material magnetik dan Polianilin sebagai material dielektrik. Kemudian kedua material tersebut dicampurkan dalam cat kapal Agatha, sehingga dapat membentuk komposit isotropik dengan RAM (Barium M-Heksaferit dan Polianilin) sebagai *filler* dan cat sebagai *binder* atau penguatnya. Komposit isotropik sendiri merupakan komposit yang tersusun dari material yang penguatnya ke segala arah dan tersebar merata. Pelapisan pada penelitian kali ini dilakukan dengan metode *Dallenbach layer* dan menggunakan dua layer (*double layer*). Yang mana menggunakan ketebalan total 4 mm, namun dengan variasi ketebalan lapisan pada setiap *layer* yang digunakan, yakni sebagai berikut.

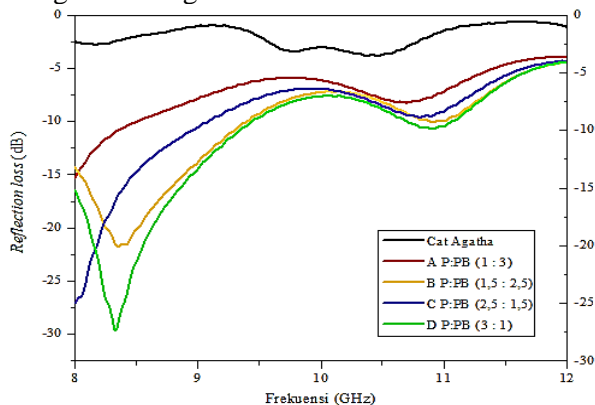
**Tabel 4.6** Variasi ketebalan lapisan *double layer* plat baja *grade A* tipe AH-36

Lapisan	Jenis	Variasi Ketebalan Lapisan (mm)			
		A	B	C	D
Layer 1	PANi (P)	1	1,5	2,5	3
Layer 2	PANi + BaM (PB)	3	2,5	1,5	1

Pemilihan variasi material yang digunakan tersebut mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Ristiani dan Zainuri (2016), yakni mengenai pelapisan *double layer* dengan variasi struktur lapisan yang digunakan. Dari penelitian tersebut diperoleh nilai *reflection loss* dan pelebaran pita penyebaran paling besar adalah pada variasi komposisi PANi dan (PANi + BaM), dengan ketebalan total 4 mm, dan ketebalan masing-masing lapisan adalah 2 mm. Selain itu, pada penelitian kali ini digunakan komposisi massa pada layer kedua, yakni PANi : BaM adalah 2,5 : 1. Hal ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Rachmawati dan Zainuri (2016) mengenai

pelapisan *single layer* dengan variasi komposisi massa yang digunakan. Perbandingan tersebut menghasilkan rugi refleksi paling baik dan mampu meningkatkan penyerapan gelombang mikro.

Pengukuran nilai *reflection loss* dilakukan dengan menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) pada rentang frekuensi X-Band (8 GHz – 12 GHz). Dari pengukuran tersebut, diperoleh grafik sebagai berikut.



**Gambar 4.9.** Grafik *reflection loss* rentang frekuensi X-Band

Berdasarkan pada gambar 4.9 tersebut menunjukkan perbandingan antara *reflection loss* (dB) dan frekuensi (GHz) serapan material penyerap radar dengan variasi ketebalan lapisan, sehingga nantinya dapat diketahui *reflection loss* dan lebar pita penyerapan dari masing-masing variasi ketebalan lapisan yang digunakan. Pada grafik tersebut terdiri dari beberapa warna yang menunjukkan jenis variasi yang digunakan, yakni diantaranya pada grafik berwarna hitam menunjukkan hasil penyerapan dari baja grade tipe AH-36 yang dilapisi cat Agatha, grafik warna merah, kuning, ungu, dan hijau menunjukkan hasil penyerapan pada masing-masing variasi ketebalan yang digunakan, yakni berturut-turut A, B, C, dan D. Adanya lembah pada grafik tersebut menunjukkan serapan yang terjadi. Semakin dalam lembah yang terbentuk, maka akan semakin besar nilai *reflection loss* yang diperoleh.

Berdasarkan nilai *reflection loss* dari masing-masing variasi tersebut, dapat diketahui nilai koefisien refleksi, besarnya energi gelombang, dan besarnya energi gelombang yang diserap, yakni seperti pada tabel 4.6 berikut.

**Tabel 4.7** Data Karakteristik Penyerapan RAM pada pelapisan *double layer*

Variasi	<i>Reflection loss</i> (dB)	Frekuensi (GHz)	Koef. Refleksi ( $\Gamma$ )	Energi serap (%)
<b>Cat Agatha</b>	-3,7	10,3	0,6531	34,68
<b>A</b>	-15,2937	8,0194	0,1719	82,81
<b>B</b>	-21,7937	8,4078	0,0813	92,87
<b>C</b>	-27,0770	8,0194	0,0443	95,57
<b>D</b>	-29,6003	8,3263	0,0331	96,69

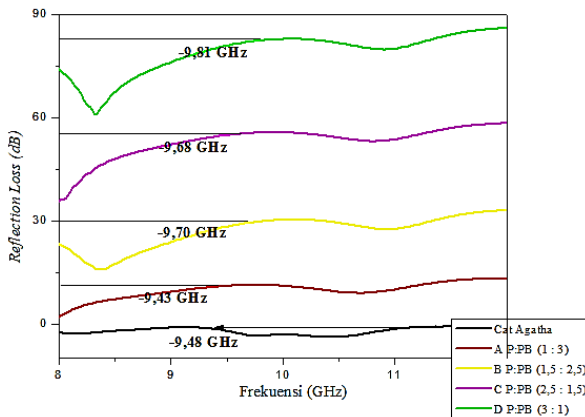
Dari tabel 4.6 tersebut dapat diketahui data karakteristik dari masing-masing variasi ketebalan lapisan, khususnya adalah nilai *reflection loss* (rugi refleksi). *Reflection loss* atau rugi refleksi sendiri merupakan suatu besaran yang mendefinisikan hilangnya energi gelombang elektromagnetik setelah mengenai suatu material (energi terserap) dan pada umumnya didisipasikan dalam bentuk panas. Semakin negatif nilai *reflection loss* yang diperoleh, maka akan semakin besar energi yang diserap oleh suatu material. Dalam *reflection loss* terdapat juga koefisien refleksi, yakni perbandingan gelombang pantul terhadap gelombang datang. Yang mana apabila besar koefisien refleksi  $\Gamma$  bernilai nol, maka dapat diartikan bahwa impedansi beban *matched* dengan impedansi saluran dan tidak ada gelombang yang dipantulkan oleh material (Ristiani dan Zainuri, 2016). Pelapisan material dengan *double layer* dengan variasi ketebalan D, yakni (PANi) : (PANi+BaM) adalah 3 : 1, mempunyai koefisien refleksi yang mendekati nol, yakni sebesar 0,0331, sehingga gelombang yang dipantulkan juga kecil, yakni 3,31% dari gelombang elektromagnetik, dan sisanya 96,69% dari gelombang elektromagnetik diserap oleh material. Kemudian pada baja yang telah dilapisi dengan cat Agatha, hanya mempunyai rugi refleksi sebesar -3,7458 dB dan

energi yang diserap adalah 34,68%. Yang menunjukkan bahwa sekitar 65,32% gelombang mikro yang ditembakkan pada baja lebih banyak yang dipantulkan kembali pada *receiver*. Namun, setelah dilakukan pelapisan dengan mencampurkan cat Agatha dengan material penyerap radar yang ditentukan, diperoleh kenaikan nilai *reflection loss* yang cukup pesat. Merujuk pada penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Amalia (2014) bahwa komposit Polianilin dan Barium M-Heksaferrit merupakan suatu material dielektrik dan magnetik yang mampu menghasilkan *reflection loss* yang paling baik. Yang mana telah diketahui pula bahwa gelombang elektromagnetik terdiri dari dua komponen utama, yakni komponen medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus dan untuk mengoptimalkan penyerapannya, maka dalam pembuatan material penyerap radar (RAM) diperlukan material yang memiliki konduktivitas tinggi dan material yang bersifat magnetik.

Pada penelitian kali ini, nilai *reflection loss* tertinggi diperoleh pada variasi D, dimana ketebalan layer pertama (PANi) lebih besar daripada layer kedua (PANi + BaM), yakni 3 mm : 1 mm dengan nilai *reflection loss* yang dihasilkan adalah -29,6003 dB. Ditinjau dari sifat kelistrikan material penyerap radar (RAM) yang digunakan, yakni Polianilin dan  $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ , keduanya tergolong dalam material semikonduktor, dengan nilai konduktivitas yang berbeda, sehingga mampu mempengaruhi mekanisme penyerapan pada komponen *electrical losses*. Polianilin memiliki sifat kelistrikan yang optimal, sehingga sangat baik digunakan sebagai penyerap gelombang mikro. Hal ini dikarenakan Polianilin dapat mengubah energi dari gelombang mikro menjadi energi panas, yakni pada saat gelombang mikro ditembakkan dan mengenai material dielektrik Polianilin tersebut, maka medan listrik dari gelombang elektromagnetik tersebut akan diserap dan menghasilkan gaya Coulomb. Akibatnya, bipolaron atau pembawa muatan akan bergerak dan menghasilkan arus listrik. Ketika arus mengalir sebagai arus permukaan material, energi gelombang mikro akan diserap dalam bentuk energi panas

(Ristiani dan Zainuri, 2016). Sedangkan apabila ditinjau dari sifat kemagnetannya, Barium M-Heksaferit dengan doping  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $x=0,9$  bersifat *softmagnet*, dengan nilai momen magnetik total yang relatif kecil, mengakibatkan domain magnetiknya lebih mudah untuk disearahkan dengan medan magnet luar.

Apabila ditinjau dari material aktifnya, mekanisme penyerapan gelombang mikro oleh material aktif komposit PANi/BaM, terjadi pada saat gelombang elektromagnetik yang ditembakkan mengenai material dielektrik Polianilin, maka muatan dalam polianilin akan mengalami induksi. Yang mana dalam proses induksi terjadi pergerakan muatan yang menyebabkan timbulnya arus. Pergerakan muatan ini menunjukkan adanya energi kinetik yang dihasilkan dan menghasilkan panas. Adanya arus listrik yang dihasilkan akan menyebabkan terjadinya medan magnet induksi. Medan magnet induksi tersebut akan saling menguatkan dengan medan magnet dari material magnetik dan akan bersuperposisi destruktif dengan medan magnet dari gelombang elektromagnetik yang ditembakkan pada material tersebut, karena mempunyai arah yang berbeda. Sehingga gelombang elektromagnetik akan terserap sempurna dan mengakibatkan gelombang elektromagnetik yang dipantulkan akan sangat lemah.



**Gambar 4.10.** Pelebaran Pita Penyerapan RAM pada Frekuensi X-Band



Seperti yang telah dijelaskan, selain dilihat dari *reflection loss*nya, material penyerap radar yang baik juga mempunyai pita penyerapan yang lebar, dikarenakan dengan pita penyerapan yang lebar menandakan bahwa material penyerap radar dapat melakukan penyerapan pada *range* frekuensi yang besar. Analisa lebih lanjut mengenai pelebaran pita penyerapan pada pelapisan *double layer* dengan variasi ketebalan lapisan dapat ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut.

**Tabel 4.8** Pelebaran Pita Penyerapan *Double Layer* Variasi Ketebalan Lapisan

Variasi	Pita Serapan (GHz)	Lebar Pita Serapan (GHz)	RL dB)
<b>Cat Agatha</b>	11 – 9,48	1,52	-3,7
<b>A</b>	9,43 – 8	1,43	-15,2937
<b>B</b>	9,70 – 8	1,70	-21,7937
<b>C</b>	9,68 – 8	1,68	-27,0770
<b>D</b>	9,81 – 8	1,81	-29,6003

Pelapisan *double layer* ini mengakibatkan adanya keberagaman kemampuan penyerapan material sehingga mampu memperlebar pita penyerapan pada frekuensi X-Band. Dari keempat variasi ketebalan lapisan *double layer* terlihat adanya pelebaran pita serapan yang merupakan gabungan dari puncak serapan karakteristik PANi dan puncak serapan karakteristik BaM. Berdasarkan data pada tabel 4.8 terlihat bahwa penyerapan paling efektif adalah pada variasi D, yakni dengan lebar pita penyerapan adalah 1,81 GHz.

Pelebaran pita penyerapan menunjukkan keefektifan dari material RAM untuk mereduksi energi gelombang elektromagnetik, sehingga gelombang elektromagnetik terpantul dapat menjadi sangat lemah. Semakin lebar rentang frekuensi penyerapan gelombang elektromagnetiknya dan material tersebut lebih efektif dalam pengaplikasiannya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul *Pengaruh Ketebalan Lapisan Material Penyerap Radar (RAM) dengan Metode Double Layer Pada Frekuensi Panjang Gelombang X-Band* dapat diambil kesimpulan, yakni sebagai berikut :

1. Barium M-Heksaferit doping ion  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $x=0,9$  telah berhasil disintesis dengan metode *solid state* dan diperoleh fasa utama Barium M-Heksaferit yang terbentuk sebesar 67,33% dan fasa sekunder Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sebesar 32,67%. Adanya doping  $\text{Zn}^{2+}$  mengubah sifat *hardmagnet* Barium M-Heksaferit menjadi *softmagnet*, yang ditunjukkan pada kurva histeris yang dihasilkan, dengan nilai magnetisasi maksimum  $\sim 52,9$  emu/g, medan koersivitas ( $H_c$ )  $\sim 0,0181$  Tesla, dan besar magnetisasi remanensi ( $M_r$ )  $\sim 15,86$  emu/g.
2. Polianilin dengan doping DBSA telah berhasil disintesis dengan metode Polimerisasi dan diperoleh nilai konduktivitas yang tinggi, yakni  $4,4 \times 10^{-1} \text{ Sm}^{-1}$ . Sedangkan Barium M-Heksaferit dengan nilai konduktivitas adalah  $2,09 \times 10^{-3} \text{ Sm}^{-1}$ . Dimana keduanya berada pada rentang nilai konduktivitas bahan semikonduktor, yakni antara  $10^{-8} - 10^3 \text{ Sm}^{-1}$ .
3. Desain *double layer* dilakukan variasi ketebalan pada setiap lapisan, yakni PANi : PANi + BaM variasi A (1:3), B (1,5:2,5), C (2,5:1,5), dan D (3:1). Adanya variasi ketebalan lapisan material penyerap radar pada desain *double layer* mempengaruhi nilai *reflection loss*, dengan variasi D yakni PANi : PANi + BaM (3:1) mempunyai nilai *reflection loss* tertinggi -29,6003 dB, sedangkan nilai *reflection loss* terendah adalah -15,2937 dB. Selain itu juga mempengaruhi lebar pita penyerapan, dengan variasi D yakni PANi : PANi + BaM (3:1) mempunyai lebar penyerapan paling 1,81 GHz efektif, pada frekuensi 9,81 – 8 GHz.

## 5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian kali ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian selanjutnya, yakni diantaranya:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada variasi strukur ataupun variasi ketebalan *double layer*, karena berpengaruh terhadap rugi refleksi gelombang elektromagnetik dan lebar penyerapan.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi jenis material konduktif berbahan alam seperti karbon aktif dari tempurung kelapa, kulit singkong, bambu dan lain sebagainya.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi jenis material magnetik, seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , maupun Barium M-Heksaferrit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustianto, R., Widyastuti, W., 2014. *Fraksi Mol Dan Variasi Ph Terhadap Sifat Magnetik Dan Struktur Mikro Barium Heksaferrit Dengan Metode Sol-Gel Auto Combustion*. J. Tek. ITS 3, F108–F112.
- A. G. MacDiarmid, J. C. Chiang, A. F. Richter, Epstein, and AJ, *Polyaniline: a new concept in conducting polymers*, Synth. Met., vol. 18, no. 1, pp. 285–290, 1987.
- A. J. Epstein, J. M. Ginder, F. Zuo, R. W. Bigelow, H.-S. Woo, D. B. Tanner, A. F. Richter, W.-S. Huang, and A. G. MacDiarmid, *Insulator-to-metal transition in polyaniline*, Synth. Met., vol. 18, no. 1, pp. 303–309, 1987.
- Awalin, Ni'matul, Zainuri, M., 2017. *Studi Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Rentang X-Band dengan Menggunakan Penyerap PANi Konduktif dan Barium M-Heksaferrit Terdoping Ion Zn ( $0,3 \leq X \leq 0,9$ )*. J. Sains Dan Seni ITS.
- Bratadharma, Angga. 2012. *Daerah Perbatasan Teriak Kepadamu, Wahai Pemerintah Pusat*. Sosbud.Komposiana.com [23 September 2012].
- Callister, William D, and David G Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering an Introduction*. 8th ed. United States: John Wiley & Sons Inc.
- D. Bahadur, J. 2006. *Chemical Science*, 118(1), 5-21.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik secara Spektroskopi*. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK/) Universitas Andalas.
- Das, S., Nayak, G.C., Sahu, S.K., Routray, P.C., Roy, A.K., Baskey, H., 2014. *Microwave Absorption Properties of Double-Layer RADAR Absorbing Materials Based on Doped Barium Hexaferrite/TiO<sub>2</sub> /Conducting Carbon Black*. J. Eng. 2014, 1–5. doi:10.1155/2014/468313.
- Efhana, D.P., Arifin, D.E.S., Viantyas, D., Fitriana, F., Abdillah, S., Zainuri, M., 2013. *Pembuatan Pelapis*

- Penyerap Gelombang Mikro Berbasis Hexaferrite BaFe<sub>12</sub>-2xznxo19 Dari Pasir Alam Pada Kabin Pesawat.* Program Kreat. Mhs.-Penelit.
- Epstein, J. J., J. M. Ginder, F. Zuo, R. W. Bigelow, H-S. Woo, D. B. Tanner, A. F. Richter, W-S. Huang, and A. G. Macdiarmid. 1987. *Insulator To Metal Transition In Polyaniline*. Synthetic Metals 18 (1): 303-309.
- Fadzidah, M.I., Hashim, M., Ismayadi, I., Idza, I.R., Norailiana, A.R., Rodziah, N., Hapishah, A.N., Shafie, M.S.E., Bahmanrokh, G.H., Masni, M., others, 2014. *Synthesis and characterization of barium-hexaferrite nanoparticles for microwave absorption*. Solid State Sci Technol 22, 12–20.
- Feng, H., Bai, D., Tan, L., Chen, N., Wang, Y., 2017. *Preparation and microwave-absorbing property of EP/BaFe 12 O 19 /PANI composites*. J. Magn. Magn. Mater. 433, 1–7. doi:10.1016/j.jmmm.2016.12.118
- Ghasemi, A., Hossienpour, A., Morisako, A., Saatchi, A., dan Salehi, M. 2006. *Electromagnetic properties and microwave absorbing characteristics of doped barium hexaferrite*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 302, hal 429–435
- Gustomo, F., Suwadi, S., 2013. *Analisa Penggunaan Sinyal Radar Bentuk Pulsa dan Gelombang Kontinyu untuk Target Bergerak dengan Model Clutter Terdistribusi Rayleigh*. J. Tek. ITS 2, A235–A240.
- Halliday & Resnick. 1989. *Fisika*. Jakarta: Erlangga.
- Irzaman, I., Erviansyah, R., Syafutra, H., Maddu, A., Siswadi, S., 2012. *Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis Ba<sub>0</sub>. 25Sr<sub>0</sub>. 75TiO<sub>3</sub> Yang Didadah Ferium Oksida (BFST) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition*. Berk. Fis. 13, 33–38.
- J. D. Krauss and D. A. Fleisch. 1999. *Electromagnetics, 5th ed.* McGraw-Hill. New York.
- Mac Diarmid, Alan G. 2001. ‘Synthetic Metals’: A Novel Role for Organic Polymers. Current Applied Physics 1 (4): 269–279.

- Mallick dkk., 2007. *Karakterisasi Struktur Kristalin Tipe-M Barium Heksaferit Tersubstitusi Ion Mangan dan Ion Titanium Menggunakan Analisis Rietveld*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Mihardi, I., 2008. *Karakteristik Optik dan Listrik Polianilin yang di-Doped HCl*. Inst. Pertan. Bogor Bogor. Morgan, Racula, 2003. EM4: Magnetic Hysteresis 1–12.
- Molaei, M.J., Ataie, A., Raygan, S., Rahimpour, M.R., Picken, S. J., Tichelaar, F.D., Legarra, E., dan F. Plazaola, E., 2012. *Magnetic Property Enhancement and Characterization of Nanostructured Barium Ferrite by Nmechano-Thermal Treatment. Materials Characterization*. Vol. 63. Hal. 83-89.
- Murthy, V. S. R., Jena, A. K, Gupta, K. P, Murthy, G. S. 2003. *Structure and Properties of Engineering Materials*. Tata Mc Graw Hill, New Delhi.
- Narang, Sukhleen Bindra and I. S. Hudhara. 2006. *Microwave dielectric properties of M-Type barium, calcium and strontium hexa-ferrite substituted with Co and Ti*. Guru Nanak Dev University, Amritsar, Punjab, India.
- Nunisa Usvanda, Lian., Zainuri, M., 2016. *Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Radar Absorbing Material (RAM) Berbahan Dasar BaM/PANi pada Rentang Gelombang X-Band dengan Variasi Ketebalan*. J. Sains Dan Seni ITS 5.
- Nuraini, U., Amalia, L., Rosyidah, K.C., Zainuri, M., 2014. *Crystal Structure and Magnetic Properties of Zn doped Barium M-Hexaferrite*. J. Fis. Dan Apl. 10, 136–138.
- Mujamilah, Ridwan, Muslich, R.M., Purwanto, S., Febri, M.M.I., Johannes, A.M, Santoso, E., dan Mugirahardjo, B. 2000. *Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Tipe Oxford VSM 1.2H*. Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet I. Serpong: Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) -BAT AN.
- Pangga, D., 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Struktur Barium MHeksaferit ( $0 < x < 1$ )*. Institut teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Parween, Nilofer. 2014. *Study of Barium Hexaferrite ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) Synthesised by Sol Gel Auto-Combustion Technique*. Rourkela: Dept of Physics and Astronomy.
- Pullar, R.C., 2012. Hexagonal ferrites: A review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics. *Prog. Mater. Sci.* 57, 1191–1334. doi:10.1016/j.pmatsci.2012.04.00
- Palaniappan, Srinivasan, John, A., 2008. *Polyaniline Materials by Emulsion Polymerization Pathway*. *Journal of Progress in Polymer Science*. 732-736.
- Rachmawati, S., Zainuri, M., 2016. *Pelapisan Double layer Penyerap Gelombang Radar Dispersi Barium MHeksaferit/Polianilin pada Rentang X-Band*. *J. Sains Dan Seni ITS* 5.
- Ristiani, D., Zainuri, M., 2016. *Desain Double Layer Radar Absorbing Materials dengan Metode Dallenbach Layer Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin*. *J. Sains Dan Seni ITS* 5.
- Saidah, Inayati Nur, and Mochamad Zainuri. 2012. *Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl Pada Sintesis Barium M-Heksaferit Dengan Doping Zn ( $BaFe_{11,4}Zn_{0,6}O_{19}$ ) Menggunakan Metode Kopresipitasi*. *Jurnal Sains dan Seni ITS* 1 (1): B41 – B46
- Saville, P., 2005. *Review of radar absorbing materials*. Defence R & D Canada. Canada.
- Setianingsih, E., others, 2014. *Karakteristik Struktur, Sifat Optik dan Sifat Listrik Film Tipis Polianilin Doping  $H_2SO_4$  yang Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating*. Universitas Negeri Semarang.
- Silvia, Linda dkk. 2013. *Pengaruh Ion Doping Zn pada Sifat Kemagnetan Barium M-Heksaferit  $BaFe_{12-x}Zn_xO_{19}$  Berbasis Pasir Besi Tulungagung*. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 9 (3): 121-124.
- Sholihah, F.R., Zainuri, M., 2012. *Pengaruh Holding Time Kalsinasi Terhadap Sifat Kemagnetan Barium M-Hexaferite ( $BaFe_{12-x}Zn_xO_{19}$ ) dengan Ion Doping Zn*. *J. Sains Dan Seni ITS* 1, B25–B29.



- Soehada, A.M., Sebayang, K., Sudiro, T., Kurniawan, C., Sebayang, P., 2014. *Effect of Mn-Ti Ions Doping and Sintering Temperature on Properties Of Barium Hexaferrite*. 15.
- Syamsir, Arasi, and others. 2012. *Sintesis Nanokomposit PANi/TiO<sub>2</sub>/Karbon Sebagai Penyerap Gelombang Mikro*. Jurnal Fisika Unand 1 (1). <http://jfu.fmipa.unand.ac.id/index.php/jfu/article/view/9>.
- Topkaya, Ramazan. 2017. *Effect of Zn substitution on temperature dependent magnetic properties of BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> hexaferrites*. Turkey: Elsevier B.V.
- Wibawanto, Rakhmat Hidayat, and Darminto. 2012. *Elektropolimerisasi Film Polianilin Dengan Metode Galvanostatik Dan Pengukuran Laju Pertumbuhannya*. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya 8 (1): 1201041–45.
- Windu Ganar Prasongko Priyono, 2013. *Pembuatan Material Magnetik Komposit BaFe<sub>9</sub>Mn<sub>0,75</sub>Ti<sub>1,5</sub>O<sub>19</sub> / Elastomer untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetik*. 21, 19.
- Yuzcelik, Cihangir Kemal., 2003. *Radar absorbing material design*. California: Naval Postgraduate School.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN A

### Dokumentasi Penelitian

#### a. Pemurnian dan Preparasi Batu Besi



**Gambar 1.** Batu Besi



**Gambar 2.** Reduksi  
Ukuran Batu Besi



**Gambar 3.** Serbuk Besi



**Gambar 4.** Separasi  
Magnet



**Gambar 5.** Pencucian  
dengan *Ultrasonic Cleaner*



**Gambar 6.** Hasil pencucian  
Serbuk Besi

**b. Sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3$**



**Gambar 7.** Penimbangan Serbuk Besi



**Gambar 8.** Pelarutan Serbuk besi dalam HCl



**Gambar 9.** Pemisahan  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$



**Gambar 10.** pH  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$



**Gambar 11.** Titrasi  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ , dengan Ammonia



**Gambar 12.** pH setelah titrasi dengan Ammonia

c. Sintesis Barium M-Heksaferit



**Gambar 13.**  
Penimbangan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$



**Gambar 14.**  
Penimbangan  $\text{BaCO}_3$



**Gambar 15.**  
Penimbangan  $\text{BaCO}_3$



**Gambar 16.** Ball Milling  
yang digunakan



**Gambar 17.** Alkohol  
yang digunakan



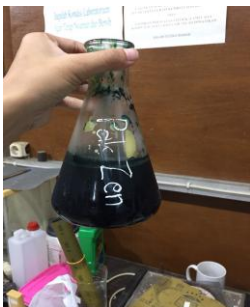
**Gambar 18.** Alat *milling*  
yang digunakan

**d. Sintesis Polianilin**

**Gambar 19.** Larutan inisiator APS



**Gambar 20.** Proses polimerisasi



**Gambar 21.** Larutan PANi



**Gambar 22.** Proses penyaringan PANi



**Gambar 23.** Proses pencucian PANi

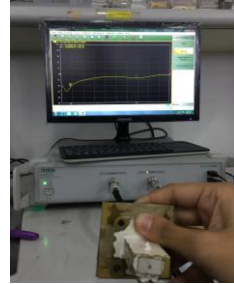


**Gambar 24.** Serbuk PANi

e. **Pelapisan *double layer***



**Gambar 25.** Proses pencucian PANi



**Gambar 26.** Pengujian VNA



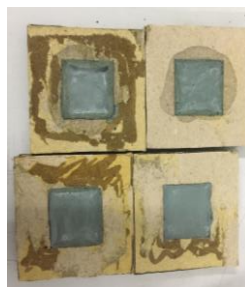
**Gambar 27.**  
Penimbangan BaM



**Gambar 28.**  
Penimbangan PANi



**Gambar 29.** Pelapisan *double layer*



**Gambar 30.** Desain *double layer*

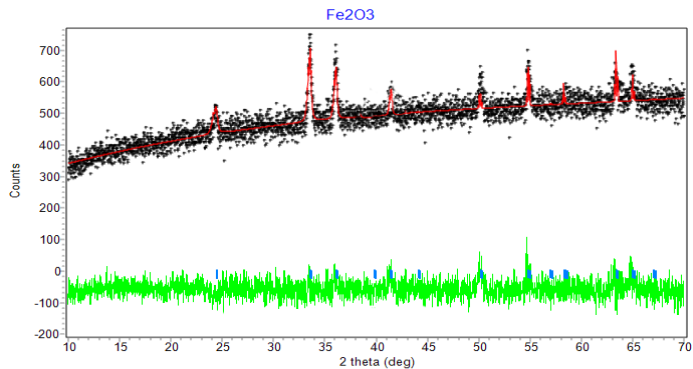
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



LAMPIRAN B

Penghalusan *Rietveld* dengan *software Rietica*

1. Hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)



Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
NUMBER OF PHASES = 1  
NUMBER OF HISTOGRAMS = 1  
NUMBER OF PARAMETER LIMITS = 0  
NUMBER OF BOND RESTRAINTS = 0

Hist	Rp	Rwp	Rp(-b)	Rwp(-b)	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P	
1	4.26	5.47	9.45	9.01	4.54	*****	1.558	3519	
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION				
0.7275E+05	0.1710E+07	0.1705E+07	0.1710E+07	0.1453E+01	0.4326e+14				
DERIVED BRAGG R-FACTOR= 4.10									

	Phase: 1								
PHASE SCALE FACTOR	=	0.418140E-03	0.612085E-07	0.115561E-04					
OVERALL TEMP. FACTOR	=	0.000000	0.000000	0.000000					
CELL PARAMETERS	=	5.343317	-0.000017	0.000443					
		5.343403	0.000000	0.000382					
		5.343403	0.000000	0.000382					
		55.278973	-0.000286	0.005514					
		55.280304	-0.000011	0.000000					
		55.280304	-0.000011	0.000000					
RECIPROCAL CELL	=	0.244	0.244	0.244	*****	*****	*****		
CELL VOLUME	=	96.044006	0.269544						
SCALE * VOLUME	=	0.040160	0.001116						
MOLECULAR WEIGHT	=		319.398						
DENSITY	=		5.520						

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:				WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:					
PHASE 1:		12.59	7.58	67.33		17.07			
PHASE 2:		87.41	78.81	32.67		23.44			
-----									
Hist	Rp	Rwp	Rp(-b)	Rwp(-b)	Rexp	Durbin Unwgt	Durbin Wgt	N-P	
-----									
1	4.66	5.85	10.36	10.00	5.24	*****	1.795	3512	
-----									
SUMYDIF		SUMYOBS		SUMYCALC		SUMWYOBSQ		GOF	CONDITION
-----									
0.5955E+05		0.1278E+07		0.1273E+07		0.1278E+07		0.1243E+01	0.2130E+17
-----									
DERIVED BRAGG R-FACTOR=				2.77					
-----									
Phase: 1									
-----									
PHASE SCALE FACTOR				= 0.591525E-06 -0.138622E-07 0.602249E-07					
OVERALL TEMP. FACTOR				= 0.000000 0.000000 0.000000					
CELL PARAMETERS				= 5.888776 -0.000065 0.012566					
				5.888776 -0.000065 0.012566					
				23.225506 -0.000075 0.079244					
				90.000008 0.000000 0.000000					
				90.000008 0.000000 0.000000					
				120.000008 0.000000 0.000045					
RECIPROCAL CELL				= 0.226 0.226 0.045 90.000 90.000 60.000					
CELL VOLUME				= 698.370331 0.249818					
SCALE * VOLUME				= 0.002961 0.000030					
MOLECULAR WEIGHT				= 3201.739					

DENSITY = 8.621

ABSOLUTE PHASE VALUES:

INC = NEUTRONS ON SAMPLE/CM<sup>2</sup> ( in cm<sup>-2</sup>)

MASS = MASS OF PHASE IN BEAM (in g)

Is/R = RATIO OF DETECTOR HEIGHT TO SAMPLE-DETECTOR

Then:

INC\*MASS\*Is/R = 3635.958

+-----+							
	Phase: 2						
+-----+							
PHASE SCALE FACTOR	=	0.130752E-05	-.313600E-06	0.887450E-06			
OVERALL TEMP. FACTOR	=	0.000000	0.000000	0.000000			
CELL PARAMETERS	=	5.046422	-0.000036	0.000763			
		8.133754	-0.000036	0.000763			
		13.892828	-0.000028	0.003808			
		90.000008	0.000000	0.000000			
		90.000008	0.000000	0.000000			
		120.000008	0.000000	0.000000			
RECIPROCAL CELL	=	0.243	0.243	0.085	90.000	90.000	60.000
CELL VOLUME	=	343.032654	0.202388				
SCALE * VOLUME	=	0.004514	0.000179				
MOLECULAR WEIGHT	=	994.800					
DENSITY	=	5.779					

ABSOLUTE PHASE VALUES:

INC = NEUTRONS ON SAMPLE/CM<sup>2</sup> ( in cm<sup>-2</sup>)

MASS = MASS OF PHASE IN BEAM (in g)

Is/R = RATIO OF DETECTOR HEIGHT TO SAMPLE-DETECTOR

Then:

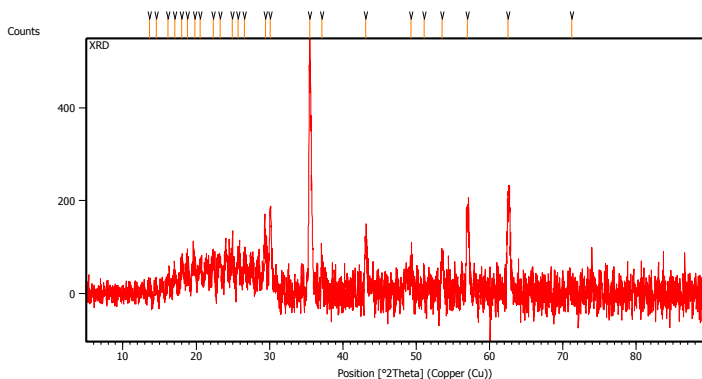
INC\*MASS\*Is/R = 2808.590

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# LAMPIRAN C

## DOKUMENTASI PENGUJIAN

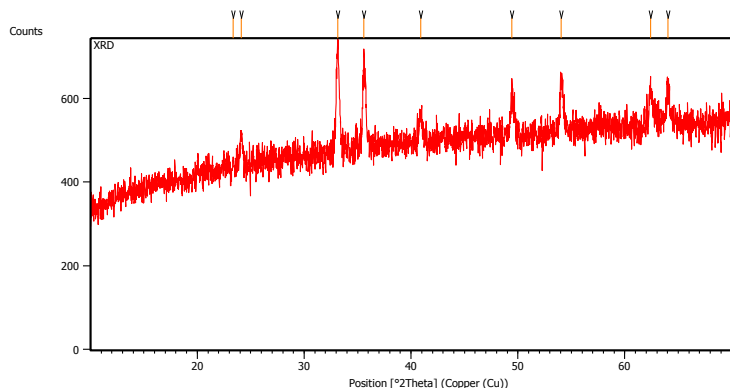
### 1. XRD Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
13.6063	18.59	0.2676	6.50806	3.88
14.5712	16.17	0.5353	6.07922	3.37
16.1739	30.36	0.2676	5.48025	6.33
17.0584	39.96	0.4015	5.19804	8.33
18.0100	56.09	0.3346	4.92547	11.69
18.7848	67.59	0.2676	4.72403	14.09
19.8209	64.65	0.5353	4.47935	13.48
20.5382	62.62	0.2676	4.32451	13.05
22.3443	69.97	0.3346	3.97888	14.59
23.2453	68.35	0.4015	3.82665	14.25
24.9455	76.95	0.4015	3.56956	16.04
25.7126	81.80	0.2676	3.46478	17.05
26.5983	76.99	0.2676	3.35138	16.05
29.4138	132.92	0.2676	3.03668	27.71
30.0756	176.19	0.2342	2.97135	36.73
35.4490	479.65	0.2007	2.53231	100.00
37.1264	70.22	0.2007	2.42166	14.64
43.1004	110.14	0.2676	2.09883	22.96
49.2894	57.14	0.3346	1.84882	11.91

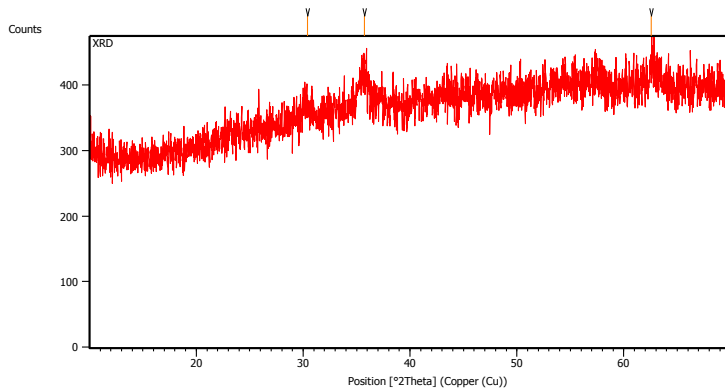
51.0738	48.47	0.2007	1.78833	10.11
53.5431	71.47	0.4015	1.71154	14.90
56.9915	173.86	0.4015	1.61590	36.25
62.4910	211.66	0.4015	1.48627	44.13
71.1832	27.31	0.8029	1.32463	5.69

## 2. XRD Hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)



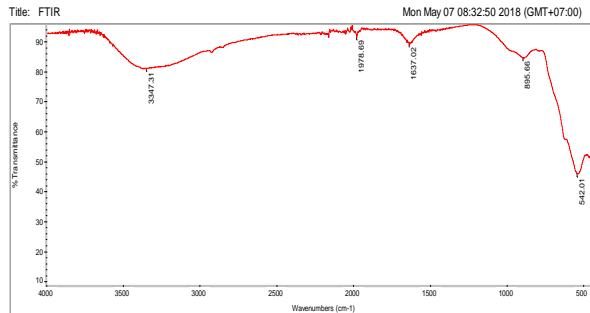
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.3668	22.60	0.2007	3.80703	8.51
24.1128	76.07	0.2007	3.69090	28.63
33.1590	265.69	0.2342	2.70176	100.00
35.5769	193.64	0.2342	2.52350	72.88
40.8799	69.43	0.2676	2.20756	26.13
49.4522	104.37	0.3346	1.84311	39.28
54.0580	127.77	0.2676	1.69645	48.09
62.4034	94.22	0.2676	1.48814	35.46
64.0440	80.21	0.2676	1.45393	30.19

### 3. XRD Barium M-Heksaferit ( $\text{BaFe}_{11.1}\text{Zn}_{0.9}\text{O}_{19}$ )



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.4171	16.01	0.8029	2.93877	40.29
35.7468	39.74	0.8029	2.51189	100.00
62.5451	31.09	0.4015	1.48511	78.22

### 4. FTIR Barium M-Heksaferit



Collection time: Mon May 07 08:26:58 2018 (GMT+07:00)  
 Mon May 07 08:32:39 2018 (GMT+07:00)

#### FIND PEAKS:

Spectrum: FTIR  
 Region: 4000.00  
 Absolute threshold: 91.572  
 Sensitivity: 50

Peak list:  
 Position: 542.01 Intensity: 45.536  
 Position: 895.06 Intensity: 84.365  
 Position: 1637.02 Intensity: 88.999  
 Position: 1978.69 Intensity: 91.210  
 Position: 3347.31 Intensity: 80.829

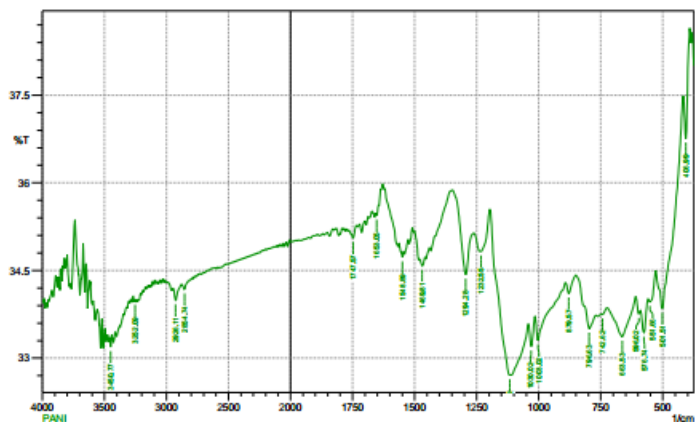
Hit List:  
 Index  
 1632  
 1631  
 1630  
 1138  
 72  
 174  
 1816  
 6035  
 105  
 42

Match  
 26.78  
 25.33  
 21.11  
 20.40  
 19.74  
 19.14  
 19.04  
 18.84  
 18.34  
 C GRADE  
 17.34

Compound name  
 Ammonium heptafluorotantalate(V), 99.99%  
 Potassium heptafluorotantalate(V), 98%  
 Potassium heptafluorotantalate(V), 98%  
 Titanium dioxide, rutile  
 PYRIDAZINE, 97%  
 CHLOROQUINE PO4 IN KBR  
 Diphosphoryl chloride, 97%  
 (+)-Hansa, 1,2-Bis(dichlorophosphino)-  
 cyclopentane, tech., 90%  
 DICHLOROMETHANE, 99+%, SPECTROPHOTOMETRI  
 THIAZOLIDINE, 97%

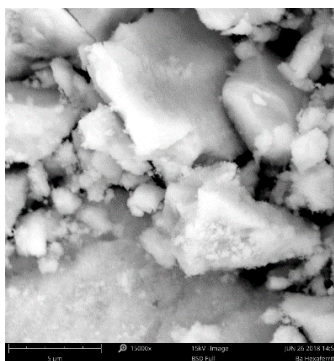
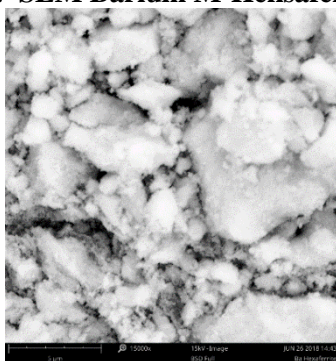
Library  
 HR Aldrich FT-IR Collection Edition II  
 HR Aldrich FT-IR Collection Edition II  
 HR Aldrich FT-IR Collection Edition II  
 HR Aldrich Polymer and Additives  
 Aldrich Vapor Phase Sample Library  
 Georgia State Crime Lab Sample Library  
 HR Aldrich FT-IR Collection Edition II  
 HR Aldrich FT-IR Collection Edition II  
 Aldrich Vapor Phase Sample Library  
 Aldrich Vapor Phase Sample Library

## 5. FTIR POLIANILIN

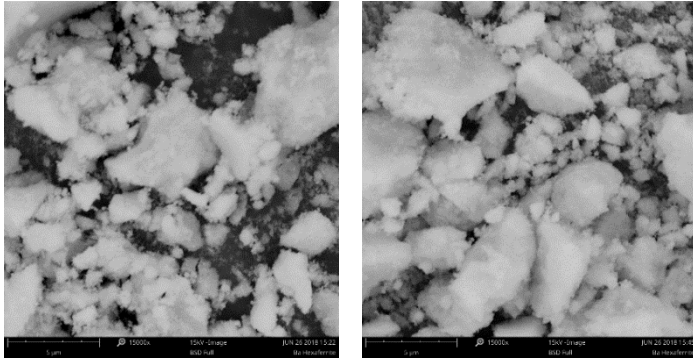


	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	406.99	36.7558	1.2205	418.57	391.56	11.4947	0.1666
2	501.51	33.8502	1.3827	528.51	418.57	50.1014	1.2694
3	551.66	33.9627	0.1721	569.38	528.51	14.4147	0.0554
4	576.74	33.4354	0.4662	590.24	569.38	14.5843	0.0907
5	596.02	33.7672	0.1296	609.53	590.24	9.0707	0.017
6	663.53	33.3868	0.5939	723.33	609.53	53.8389	0.455
7	742.62	33.7505	0.0198	746.48	723.33	10.9041	0.0018
8	796.63	33.5072	0.4519	850.64	769.62	38.0788	0.1971
9	879.57	34.1082	0.2191	891.14	850.64	18.8469	0.0512
10	1003.02	33.3004	0.4639	1014.59	891.14	58.1171	0.2776
11	1030.02	33.2021	0.4376	1041.6	1014.59	12.8491	0.0751
12	1116.82	32.7089	1.8092	1196.91	1043.52	72.5149	2.1428
13	1232.55	34.8251	0.4917	1261.49	1195.91	29.8766	0.2511
14	1294.28	34.4281	0.9885	1348.29	1261.49	39.4274	0.3925
15	1469.81	34.5821	0.1286	1479.45	1458.23	9.7692	0.0194
16	1548.89	34.7265	0.1434	1562.39	1543.1	8.8383	0.0197
17	1653.05	35.4381	0.1254	1656.91	1637.62	8.6556	0.0234
18	1747.57	35.0694	0.1718	1764.93	1734.06	14.0142	0.0294
19	2854.74	34.176	0.1157	2877.89	2791.09	40.3568	0.0384
20	2928.11	33.9891	0.2276	2945.4	2877.89	31.5122	0.0802
21	3252.09	33.9833	0.0104	3255.95	3248.23	3.616	0.0005
22	3450.77	33.1898	0.1906	3458.48	3439.19	9.2168	0.0265

## 6. SEM Barium M-Heksaferit

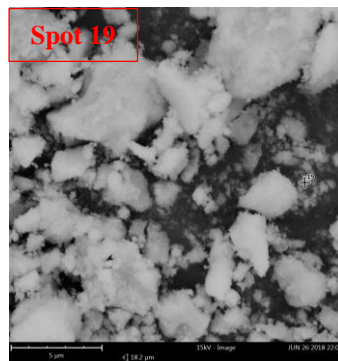
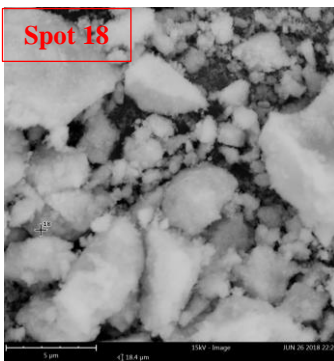
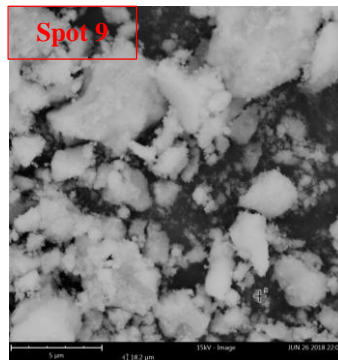
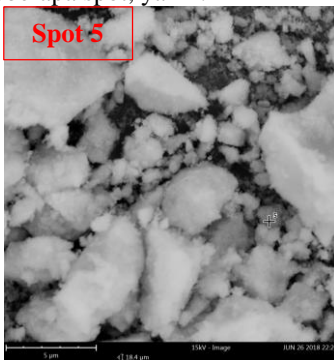






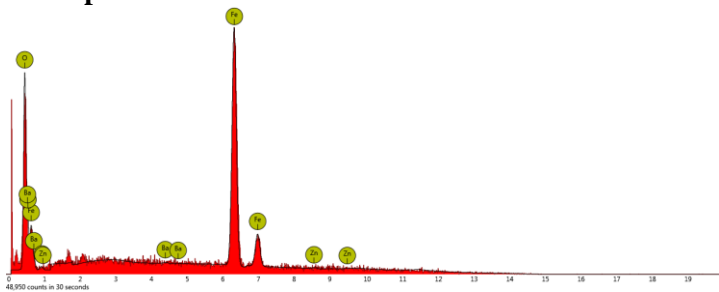
## 7. SEM-EDX Barium M-Heksaferit

Pengujian dilakukan melalui metode spoting dan diperoleh beberapa spot, yakni:



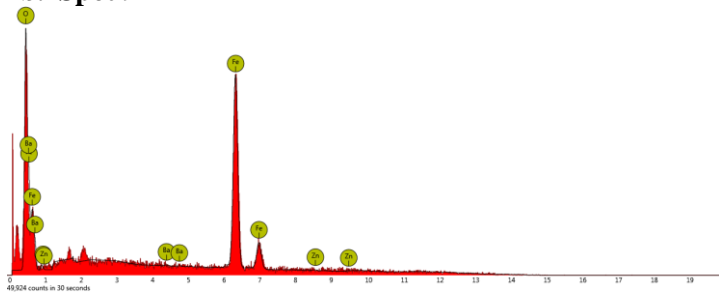
Diperoleh data persebaran yakni sebagai berikut:

a. Spot 5



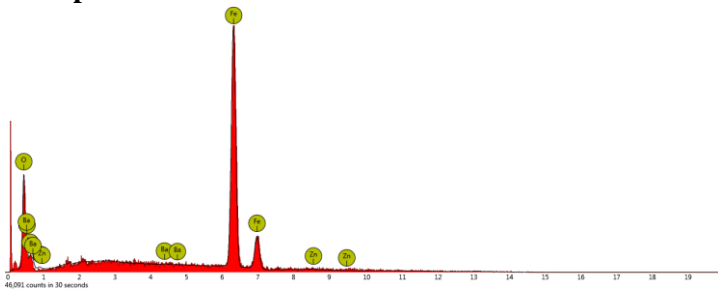
Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
26	Fe	Iron	80.7	0.2
8	O	Oxygen	18.0	0.9
56	Ba	Barium	0.5	1.3
30	Zn	Zinc	0.8	1.1

b. Spot 9



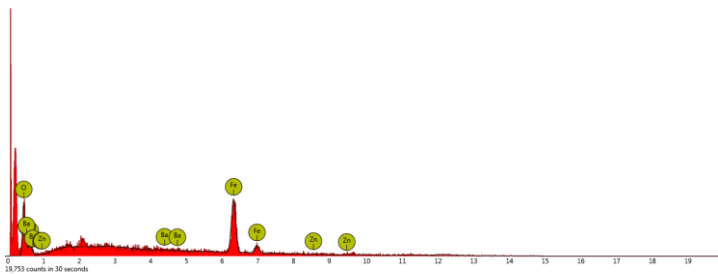
Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
26	Fe	Iron	73.9	0.3
8	O	Oxygen	25.0	0.9
56	Ba	Barium	0.6	1.1
30	Zn	Zinc	0.6	1.1

c. Spot 18



Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
26	Fe	Iron	88.3	0.3
8	O	Oxygen	10.4	0.7
30	Zn	Zinc	0.9	2.0
56	Ba	Barium	0.4	1.0

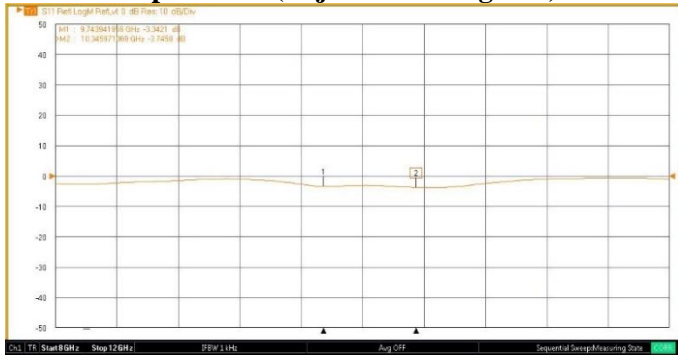
d. Spot 19



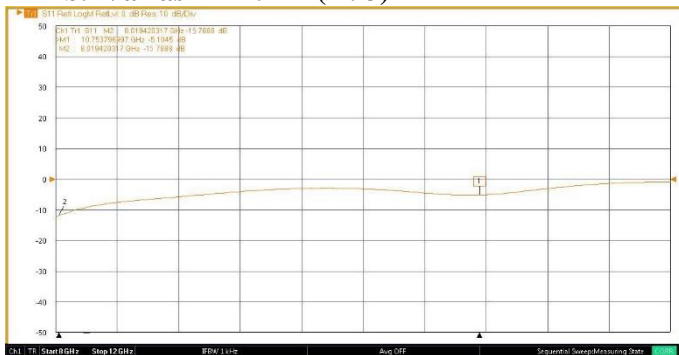
Element Number	Element Symbol	Element Name	Weight Concentration	Error
26	Fe	Iron	75.2	0.5
8	O	Oxygen	21.0	0.6
56	Ba	Barium	1.3	1.3
30	Zn	Zinc	2.5	1.5

## 8. VNA Material Penyerap Radar

### a. Sampel dasar (Baja dan Cat Agatha)



### b. Variasi A P : PB (1 : 3)



### c. Variasi B P : PB (1,5 : 2,,5)



### d. Variasi C P : PB (2,5 : 1,5)



### e. Variasi D P : PB (3 : 1)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Rahma Fitri Puspitasari, biasa dipanggil unyil, anak ketiga dari tiga bersaudara. Lahir di Kediri, pada 29 Februari 1996, dari pasangan Bapak Sugijanto dan Ibu Yumiati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di antaranya SDN Grogol 1 tahun 2002 – 2008, SMPN 1 Kediri tahun 2008 – 2011, kemudian SMAN 1

Kediri tahun 2011 – 2014, dan diterima di Jurusan Fisika FIA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN, terdaftar dengan NRP 01111440000046. Selama menjadi Mahasiswa Fisika ITS penulis aktif dalam mengikuti Organisasi baik jurusan maupun Institut, diantaranya pada tahun pertama sebagai anggota Paduan Suara Mahasiswa Group 4, staff Departemen MEDFO Himasika ITS 2015 – 2016, Sekretaris Umum 1 Himasika ITS 2016 – 2017. Dalam kepanitiaan, antara lain Sie Dokumentasi dan Publikasi pada Physics Summit, Gempa 4.5, INTERVAL ITS, dan INTERN F MIPA ITS, Kakak Pendamping Gerigi ITS 2016, Sie LO IFC 2016, IC Radiasi Himasika ITS. Selain itu, penulis juga menjadi Asisten Laboratorium Fisika Dasar 2 tahun 2018/2019, Kritik dan saran dapat dikirim ke email: [rahmafpspt@gmail.com](mailto:rahmafpspt@gmail.com) atau Hp: 0813 5890 3430

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*